

(12) 特許協力条約に基づいて公開された国際出願

(19) 世界知的所有権機関
国際事務局



(43) 国際公開日
2010 年 9 月 10 日(10.09.2010)

PCT

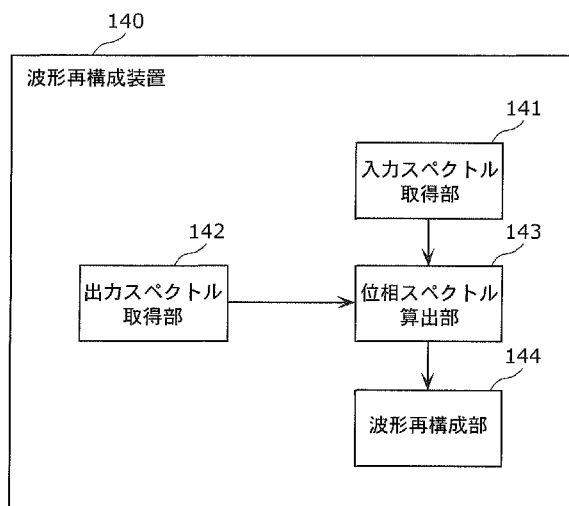
(10) 国際公開番号
WO 2010/100891 A1

- (51) 国際特許分類:
G01J 11/00 (2006.01) G01J 3/28 (2006.01)
- (21) 国際出願番号: PCT/JP2010/001397
- (22) 国際出願日: 2010 年 3 月 2 日(02.03.2010)
- (25) 国際出願の言語: 日本語
- (26) 国際公開の言語: 日本語
- (30) 優先権データ:
特願 2009-048608 2009 年 3 月 2 日(02.03.2009) JP
- (71) 出願人 (米国を除く全ての指定国について): 国立大学法人大阪大学 (OSAKA UNIVERSITY) [JP/JP]; 〒5650871 大阪府吹田市山田丘 1 番 1 号 Osaka (JP).
- (72) 発明者; および
- (75) 発明者/出願人 (米国についてのみ): 小西 毅 (KONISHI, Tsuyoshi). 加藤 卓也 (KATO, Takuya). 後藤 洋臣 (GOTO, Hiroomi).
- (74) 代理人: 新居 広守 (NII, Hiromori); 〒5320011 大阪府大阪市淀川区西中島 5 丁目 3 番 10 号 タナカ・イトーピア新大阪ビル 6 階新居国際特許事務所内 Osaka (JP).
- (81) 指定国 (表示のない限り、全ての種類の国内保護が可能): AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, 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, 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, PE, PG, PH, PL, PT, RO, RS, RU, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, ZA, ZM, ZW.
- (84) 指定国 (表示のない限り、全ての種類の広域保護が可能): ARIPO (BW, GH, GM, KE, LS, MW, MZ, NA, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), ユーラシア (AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, RU, TJ, TM), ヨーロッパ (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, SE, SI, SK, SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, ML, MR, NE, SN, TD, TG).
- 添付公開書類:
— 国際調査報告 (条約第 21 条(3))

(54) Title: WAVEFORM RECONSTRUCTION DEVICE, WAVEFORM RECONSTRUCTION SYSTEM, WAVEFORM RECONSTRUCTION METHOD

(54) 発明の名称: 波形再構成装置、波形再構成システム及び波形再構成方法

[図2]



140 WAVEFORM RECONSTRUCTION DEVICE
142 OUTPUT SPECTRUM ACQUISITION UNIT
141 INPUT SPECTRUM ACQUISITION UNIT
143 PHASE SPECTRUM CALCULATION UNIT
144 WAVEFORM RECONSTRUCTION UNIT

(57) Abstract: Provided is a waveform reconstruction device capable of easily reconstructing the accurate time waveform of an optical signal without using an ultrafast time gate or a reference light source. More specifically, a waveform reconstruction device (140) is provided with a phase spectrum calculation unit (143) which calculates the power spectrum of an output optical signal with respect to each of input optical signals with multiple intensities when the phase spectrum of each of the input optical signals with multiple intensities is assumed to have a given phase spectrum, by simulating the propagation of the input optical signal through an optical fiber using the parameter relating to self-phase modulation of the optical fiber, and calculates, as the phase spectrum of the input optical signal, the given phase spectrum in which the difference value between the calculated power spectrum and a measured power spectrum is less than or equal to a predetermined threshold value, and a waveform reconstruction unit (144) which reconstructs the time waveform of the input optical signal by frequency/time transforming the calculated phase spectrum and the power spectrum of the input optical signal.

(57) 要約:

[続葉有]



超高速時間ゲート又は参照光源を用いることなく、正確な光信号の時間波形を簡便に再構成できる波形再構成装置を提供することを目的とする。波形再構成装置（１４０）は、光ファイバの自己位相変調に関するパラメータを用いて入力光信号の光ファイバ内の伝播をシミュレーションすることにより、複数の強度の入力光信号の位相スペクトルが所与の位相スペクトルを有すると仮定した場合における出力光信号のパワースペクトルを複数の強度の入力光信号ごとに計算し、計算したパワースペクトルと計測されたパワースペクトルとの差分値が所定閾値以下となる所与の位相スペクトルを入力光信号の位相スペクトルとして算出する位相スペクトル算出部（１４３）と、算出された位相スペクトルと入力光信号のパワースペクトルとを周波数／時間変換することにより、入力光信号の時間波形を再構成する波形再構成部（１４４）とを備える。

明 細 書

発明の名称：

波形再構成装置、波形再構成システム及び波形再構成方法

技術分野

[0001] 本発明は、光信号の時間波形を再構成する波形再構成装置等に関するものである。

背景技術

[0002] 近年、非線形光学効果を利用した情報通信システム等の実用化に向け、光信号の正確な時間波形の情報を得ることは極めて重要となっている。そこで、光信号の正確な時間波形の情報を取得するために、光サンプリングオシロスコープ、オートコリレータなどを用いて、光信号の時間波形の強度分布が計測される。その結果、計測された強度分布から、光信号の振幅情報が取得される。しかしながら、計測された強度分布からは、光信号の位相情報は取得できない。つまり、光信号の強度分布を計測しただけでは、光信号の時間波形の情報を取得することはできない。

[0003] そこで、光信号の位相を取得するための様々な方法が、提案されている（例えば、非特許文献1及び2を参照）。非特許文献1及び2に記載の方法は、時間分解分光に基づいて光信号の位相を取得する方法である。具体的には、非特許文献1及び2に記載の方法では、超高速時間ゲート又は参照光源を利用することにより、光信号の位相を取得する。そして、取得した位相を用いて、光信号の時間波形が再構成される。

先行技術文献

非特許文献

[0004] 非特許文献1：D. J. Kane、R. Trebino、「Characterization of arbitrary femtosecond pulses using frequency-resolved optical gating」、IEEE J. Quantum Elect

ron、Vol. 29、1993、pp571～pp579

非特許文献2：C. Dorrer、M. Joffre、「Characterization of the spectral phase of ultrashort light pulses」、C. R. Acad. Sci. Paris、Vol. 2、2001、pp1415

発明の概要

発明が解決しようとする課題

- [0005] しかしながら、上記従来の方法では、超高速時間ゲート又は参照光源を必要とするために、光信号とゲートとの時間調整並びに安定性及びSN（Signal-Noise）比の確保など非常に高い技術レベルが要求される。
- [0006] そこで、本発明は、光信号の時間波形を簡便に再構成できる波形再構成装置を提供することを目的とする。

課題を解決するための手段

- [0007] 上記目的を達成するために、本発明の一態様に係る波形再構成装置は、入力光信号の時間波形を再構成する波形再構成装置であって、前記入力光信号のパワースペクトルを取得する入力スペクトル取得部と、自己位相変調を誘起する光ファイバ内を前記入力光信号が伝播した後に出力される出力光信号を計測することにより得られるパワースペクトルを計測パワースペクトルとして、複数の強度の前記入力光信号ごとに取得する出力スペクトル取得部と、前記光ファイバの自己位相変調に関するパラメータを用いて前記入力光信号の前記光ファイバ内の伝播をシミュレーションすることにより、前記複数の強度の入力光信号の位相スペクトルが所与の位相スペクトルを有すると仮定した場合における出力光信号のパワースペクトルを計算パワースペクトルとして前記複数の強度の入力光信号ごとに計算し、前記計算パワースペクトルと前記計測パワースペクトルとの差分値が所定閾値以下となる前記所与の位相スペクトルを前記入力光信号の位相スペクトルとして算出する位相スペクトル算出部と、前記位相スペクトル算出部により算出された位相スペクトルと、前記入力スペクトル取得部により取得されたパワースペクトルとを周

波数／時間変換することにより、前記入力光信号の時間波形を再構成する波形再構成部とを備える。

[0008] これによって、自己位相変調を誘起する光ファイバ内を入力光信号が伝播した後に出力される出力光信号のパワースペクトルを用いて、入力光信号の時間波形を再構成することができるので、光信号の時間波形を簡便に再構成することが可能となる。

[0009] また、前記位相スペクトル算出部は、予め定められたアルゴリズムに従って前記所与の位相スペクトルを変化させながら前記差分値が前記所定閾値以下となる前記所与の位相スペクトルを探索することにより、前記入力光信号の位相スペクトルを算出してもよい。

[0010] これによって、予め定められたアルゴリズムに従って位相スペクトルを変化させながら、所定閾値以下となる差分値を探索することができるので、比較的短時間に精度の高い位相スペクトルを得ることが可能となる。

[0011] また、本発明の一態様に係る波形再構成システムは、入力光信号の時間波形を再構成する波形再構成システムであって、前記入力光信号の強度を互いに異なる複数の強度に変化させる強度調節器と、当該光ファイバ内を伝播する光信号の自己位相変調を誘起する光ファイバであって、前記自己位相変調に関するパラメータが既知である光ファイバと、前記強度調節器により強度が変化された前記入力光信号が前記光ファイバ内を伝播した後に出力される出力光信号のパワースペクトルを前記複数の強度ごとに計測するスペクトル計測器と、前記波形再構成装置とを備え、前記出力スペクトル取得部は、前記スペクトル計測器により計測されたパワースペクトルを計測パワースペクトルとして取得する。

[0012] これによって、パラメータが既知の光ファイバとスペクトル計測器とがあれば入力光信号の時間波形を再構成できるので、超高速時間ゲート又は参照光源を必ずしも備えなくてもよい。つまり、光信号の時間波形を簡便に再構成することが可能となる。

[0013] また、前記光ファイバは、少なくとも二次、三次及び四次分散の自己位相

変調に関するパラメータが既知であることが好ましい。

[0014] これによって、光信号の時間波形を、より高精度に再構成することが可能となる。

[0015] なお、本発明は、このような波形再構成装置として実現することができるだけでなく、このような波形再構成装置が備える特徴的な構成部の動作をステップとする波形再構成方法として実現することができる。さらに、波形再構成方法に含まれる各ステップをコンピュータに実行させるプログラムとして実現することもできる。そして、そのようなプログラムは、CD-ROM (Compact Disc-Read Only Memory) 等の記録媒体又はインターネット等の伝送媒体を介して配信することができるのは言うまでもない。

発明の効果

[0016] 以上の説明から明らかなように、本発明の一態様に係る波形再構成装置は、自己位相変調を誘起する光ファイバ内を入力光信号が伝播した後に出力される出力光信号のパワースペクトルを用いて、入力光信号の時間波形を再構成することができるので、光信号の時間波形を簡便に再構成することが可能となる。

図面の簡単な説明

[0017] [図1] 図1は、本発明の実施の形態に係る波形再構成システムの全体的な構成を示す図である。

[図2] 図2は、本発明の実施の形態に係る波形再構成装置の特徴的な機能構成を示すブロック図である。

[図3] 図3は、本発明の実施の形態に係る波形再構成装置における動作を示すフローチャートである。

[図4] 図4は、分光器により計測された出力光信号のパワースペクトルの実験結果を示すグラフである。

[図5] 図5は、位相スペクトルの探索中における評価関数の変化の実験結果を示すグラフである。

[図6] 図6は、実験により得られたパワースペクトルと位相スペクトルとを示す図である。

[図7] 図7は、波形再構成装置により再構成された入力光信号の時間波形の実験結果を示す図である。

[図8] 図8は、7種類の入力光信号の強度に対応する出力光信号のパワースペクトルの実測値と計算値との比較結果を示すグラフである。

[図9] 図9は、分光器により計測された10種類の入力光信号の強度に対応する出力光信号のパワースペクトルのうち、位相スペクトルの算出に利用されなかった3種類の入力光信号の強度に対応する出力光信号のパワースペクトルの実測値と計算値との比較結果を示すグラフである。

[図10] 図10は、コンピュータのハードウェア構成の一例を示す図である。

発明を実施するための形態

[0018] 本発明の一態様に係る波形再構成システム及び波形再構成装置は、ある複数のスペクトル変化の組合せを引き起こす時間波形は限定されるという非線形光学効果の特徴を利用し、入力光信号の時間波形の再構成を行う。具体的には、波形再構成システム及び波形再構成装置は、入力光信号の強度を変化させたときに得られる、非線形光学効果による複数のスペクトル変化を、実測値と計算値とで比較し、その比較結果を利用して入力光信号の時間波形の再構成を行う。時間波形の再構成に必要な位相スペクトルは、焼きなまし法などの最適化アルゴリズムに従ってシミュレーションにより計算された計算パワースペクトル（計算値）が計測パワースペクトル（実測値）に近づくように位相スペクトルを変化させていくことにより決定される。

[0019] 以下に、本発明の実施の形態について、図面を参照しながら説明する。

[0020] 図1は、本発明の実施の形態に係る波形再構成システム100の全体的な構成を示す図である。この波形再構成システム100は、入力光信号の時間波形を再構成するシステムである。図1に示すように、波形再構成システム100は、強度調節器110、高非線形光ファイバ120、分光器130及び波形再構成装置140を備える。

- [0021] 強度調節器 110 は、入力光信号生成装置 200 により生成された入力光信号の強度を変化させる。
- [0022] 高非線形光ファイバ 120 は、光ファイバの一例であり、当該高非線形光ファイバ 120 内を伝播する光信号の自己位相変調を誘起する。ここで、自己位相変調とは、非線形光学効果の一例である。光ファイバなどの媒質の屈折率は、その中を伝播する光信号の強度に比例してわずかに変化するため、光信号自身に位相変調が生じる。このようにして生じる位相変調を自己位相変調という。
- [0023] また、高非線形光ファイバ 120 は、自己位相変調に関するパラメータが既知のファイバである。具体的には、高非線形光ファイバ 120 は、例えば、二次及び三次に加え、四次分散までを示すパラメータが既知である光ファイバである。なお、強度調節器 110 により強度が変化された入力光信号が高非線形光ファイバ 120 内を伝播する。
- [0024] 分光器 130 は、スペクトル計測器の一例であり、出力光信号を波長ごとの光に分解し、波長ごとに分解した光を O/E 変換及び A/D 変換することにより、デジタル値で表されたパワースペクトルを生成する。すなわち、分光器 130 は、出力光信号のパワースペクトルを計測する。ここで出力光信号とは、入力光信号が高非線形光ファイバ 120 内を伝播した後に出力される光信号である。
- [0025] 波形再構成装置 140 は、例えば、図 10 に示すようなコンピュータにより実現され、入力光信号の時間波形を再構成する。波形再構成装置 140 の詳細は図 2 を用いて後述する。
- [0026] 入力光信号生成装置 200 は、入力光信号を生成する装置である。具体的には、入力光信号生成装置 200 は、例えば、MLLD (Mode-Locked Laser Diode) と、SMF (Single Mode Fiber) と、EDFA (Erbium Doped Fiber Amplifier) とを備える。入力光信号生成装置 200 は、MLLD から出力された光パルスを、SMF により分散補償し、EDFA により増幅する

。

[0027] 図2は、本発明の実施の形態に係る波形再構成装置140の特徴的な機能構成を示すブロック図である。図2に示すように、入力スペクトル取得部141、出力スペクトル取得部142、位相スペクトル算出部143及び波形再構成部144を備える。

[0028] 入力スペクトル取得部141は、入力光信号生成装置200により生成された入力光信号のパワースペクトルを取得する。例えば、入力光信号生成装置200により生成された入力光信号のパワースペクトルが既知である場合、入力スペクトル取得部141は、記憶手段等に格納されたパワースペクトルのデータを読み出すことにより、入力光信号のパワースペクトルを取得する。一方、入力光信号生成装置200により生成された入力光信号のパワースペクトルが既知でない場合、入力スペクトル取得部141は、図示していない分光器等を用いて計測された入力光信号のパワースペクトルを取得する。なお、入力スペクトル取得部141が取得するパワースペクトルとは、入力光信号の波長ごとの光の強度を示したデータである。

[0029] 出力スペクトル取得部142は、入力光信号が高非線形光ファイバ120内を伝播した後に出力される出力光信号のパワースペクトルであって、分光器130により計測されたパワースペクトルを計測パワースペクトルとして複数の強度の入力光信号ごとに取得する。ここで、計測パワースペクトルとは、出力光信号の波長ごとの光の強度を示したデータである。

[0030] 位相スペクトル算出部143は、パラメータを用いて入力光信号の高非線形光ファイバ120内の伝播をシミュレーションすることにより、複数の強度の入力光信号が所与の位相スペクトルを有すると仮定した場合における出力光信号のパワースペクトルを計算パワースペクトルとして複数の強度の入力光信号ごとに計算する。そして、位相スペクトル算出部143は、計算した複数の強度ごとの計算パワースペクトルと、出力スペクトル取得部142により取得された複数の強度ごとの計測パワースペクトルとの差分値が、所定閾値以下となる所与の位相スペクトルを入力光信号の位相スペクトルとし

て算出する。具体的には、位相スペクトル算出部 143 は、焼きなまし法に従って所与の位相スペクトルを変化させながら差分値が所定閾値以下となる所与の位相スペクトルを探索することにより、入力光信号の位相スペクトルを算出する。

[0031] なお、位相スペクトル算出部 143 が算出する位相スペクトルとは、光信号の波長ごとの位相を示すデータである。また、パラメータとは、自己位相変調に関するパラメータであり、高非線形光ファイバ 120 に固有のパラメータである。また、位相スペクトル算出部 143 により実行されるシミュレーションは、例えば、スプリットステップ法などによるパルス伝播シミュレーションである。すなわち、位相スペクトル算出部 143 により実行されるシミュレーションは、高非線形光ファイバ 120 に固有の既知のパラメータを利用して、出力光信号のパワースペクトルを計算するための光信号伝播シミュレーションである。

[0032] また、上記における所定閾値は、予め定められた一定値であってもよいし、シミュレーション中に動的に変化する値であってもよい。例えば、所定閾値は、焼きなまし法により順次探索される解の収束条件を満たしたとき（例えば、解の変化率が予め定められた変化率以下となったとき）に得られる差分値であってもよい。さらに、例えば、所定閾値は、予め定められた探索回数だけ解の探索がなされたときに得られる差分値であってもよい。

[0033] 波形再構成部 144 は、位相スペクトル算出部 143 により算出された位相スペクトルと、入カスペクトル取得部 141 により取得されたパワースペクトルとを周波数／時間変換することにより、入力光信号の時間波形を再構成する。具体的には、波形再構成部 144 は、例えば、位相スペクトルとパワースペクトルとを逆フーリエ変換することにより、時間波形を再構成する。

[0034] 次に、以上のように構成された波形再構成装置 140 における各種動作について説明する。

[0035] 図 3 は、本発明の実施の形態に係る波形再構成装置 140 における動作を

示すフローチャートである。

- [0036] まず、入カスペクトル取得部 141 は、入力光信号生成装置 200 により生成された入力光信号のパワースペクトルを取得する（ステップ S 101）。続いて、出カスペクトル取得部 142 は、分光器 130 により計測された、複数の強度の入力光信号に対応する出力光信号のパワースペクトルを計測パワースペクトルとして取得する（ステップ S 102）。
- [0037] 次に、位相スペクトル算出部 143 は、初期値となる位相スペクトルを決定する（ステップ S 103）。例えば、位相スペクトル算出部 143 は、任意の位相スペクトルを初期値と決定する。また、例えば、位相スペクトル算出部 143 は、入力光信号が予め定められた型のパルスであると仮定したときに得られる位相スペクトルを初期値と決定してもよい。
- [0038] そして、位相スペクトル算出部 143 は、高非線形光ファイバ 120 の自己位相変調に関するパラメータを用いて入力光信号の高非線形光ファイバ 120 内の伝播をシミュレーションする。これにより、位相スペクトル算出部 143 は、複数の強度の入力光信号の位相スペクトルがステップ S 103 又はステップ S 106 において決定された位相スペクトルを有すると仮定した場合における出力光信号のパワースペクトルを計算パワースペクトルとして、複数の強度の入力光信号ごとに計算する（ステップ S 104）。
- [0039] 次に、位相スペクトル算出部 143 は、計算された複数の強度ごとの計算パワースペクトルと、分光器 130 により計測された（ステップ S 102 において取得された）複数の強度ごとの計測パワースペクトルとの、各強度における差分値の合計が、所定閾値以下か否かを判定する（ステップ S 105）。
- [0040] ここで、差分値の合計が所定閾値より大きいと判定された場合（ステップ S 105 の No）、位相スペクトル算出部 143 は、シミュレーションに用いる新たな位相スペクトルを、焼きなまし法に従って決定する（ステップ S 106）。そして、再度、ステップ S 104 からの処理が繰り返される。
- [0041] 一方、差分値が所定閾値以下であると判定された場合（ステップ S 105

のYes)、シミュレーションに用いた位相スペクトルを入力光信号の位相スペクトルとして算出する(ステップS107)。

[0042] 最後に、入力光信号のパワースペクトルと、算出された位相スペクトルとを周波数/時間変換することにより、入力光信号の時間波形を再構成し(ステップS108)、処理を終了する。

[0043] 以上の処理により、波形再構成装置140は、自己位相変調を誘起する光ファイバ内を入力光信号が伝播した後に出力される出力光信号のパワースペクトルを用いて、光信号の時間波形を簡便に再構成することが可能となる。

[0044] 次に、上記の波形再構成システム100により得られた実験結果について説明する。

[0045] 本実験では、入力光信号生成装置200は、MLLDから10GHzの周期で出力された1.3psの光パルスを、65mのSMFにより分散補償した後に、EDFAにより増幅した。このようにEDFAにより増幅された光パルスを、入力光信号生成装置200は入力光信号として出力した。

[0046] 強度調節器110には、可変光減衰器(VOA: Variable Optical Attenuator)を用いた。強度調節器110は、電力を17.2mWから10.3mWずつ上げていくことにより、入力光信号生成装置200により生成された入力光信号の強度を10種類の異なる強度に変更した。そして、強度調節器110は、強度を変更した入力光信号を高非線形光ファイバ120に出力した。

[0047] 高非線形光ファイバ120には、二次及び三次に加え、四次分散まで考慮した、表1に示すパラメータを有する光ファイバを用いた。

[0048]

[表1]

Loss: α	1.0 dB/km
2nd order dispersion: β_2	$+2.36 \times 10^{-2} \text{ ps}^2/\text{km}$
3rd order dispersion: β_3	$+4.72 \times 10^{-3} \text{ ps}^3/\text{km}$
4th order dispersion: β_4	$+2.90 \times 10^{-4} \text{ ps}^4/\text{km}$
Nonlinearly: γ	15.0 /W/km
Fiber length: L	92 m

[0049] 分光器 130により計測された、入力光信号の10種類の強度に対応する出力光信号のパワースペクトルを、図4の(a)～(j)に示す。図において、グラフの横軸は波長(Wavelength (nm))を示し、縦軸は強度(Intensity (a. u.))を示す。また、図4の(a)～(j)に示すパワースペクトルのそれぞれは、強度調節器110の電力が順に17.2 mW、27.5 mW、37.8 mW、48.1 mW、58.4 mW、68.7 mW、79.0 mW、89.4 mW、99.7 mW、及び110.0 mWであるときの出力光信号のパワースペクトルである。

[0050] 本実験では、波形再構成装置140が備える位相スペクトル算出部143は、7種類の強度に対応する(図4の(a)～(g)に示す)出力光信号のパワースペクトルの実測値と、シミュレーションにより得られる出力光信号のパワースペクトルの計算値との差分値を評価関数として、焼きなまし法に従って位相スペクトルを変化させながら評価関数が最小となる位相スペクトルを探索した。その際、位相スペクトルの初期値には、オートコリレーションにより求めたパルス幅を元にGerchberg-Saxton法によりSech型光パルスに近似した際の位相スペクトルを用いた。このような位相スペクトルを初期値として利用することにより、早期に評価関数を収束させることが可能となった。

[0051] 図5は、位相スペクトルの探索中における評価関数の変化の実験結果を示

すグラフである。図5において、グラフの横軸は評価関数の繰り返し計算回数 (Number of iteration times) を示し、縦軸は評価関数の値 (Evaluation function (a. u.)) を示す。

[0052] 図5から明らかなように、比較的早期に評価関数が一定値に収束している。位相スペクトル算出部143は、評価関数が一定値に収束したとき（例えば、図5における2500回目）の位相スペクトルを入力光信号の位相スペクトルと決定した。

[0053] 図6は、実験により得られたパワースペクトルと位相スペクトルとを示す図である。図6において、横軸は波長 (Wavelength (nm)) を示す。また、縦軸は左側が強度 (Intensity (a. u.)) を示し、右側が位相 (Phase (rad)) を示す。ここで、パワースペクトル601が左側縦軸の強度に対応し、位相スペクトル602が右側縦軸の位相に対応する。

[0054] 波形再構成装置140が備える波形再構成部144は、図6のように算出された位相スペクトル602と、入力光信号のパワースペクトル601とを用いて、入力光信号の時間波形を再構成する。

[0055] 図7は、波形再構成装置140により再構成された入力光信号の時間波形の実験結果を示す図である。図7において、横軸は時間 (Delay time (ps)) を示し、縦軸は強度 (Intensity (a. u.)) を示す。

[0056] 図7から明らかなように、再構成された入力光信号の時間波形は、一般的なパルス光として近似されるSech型又はGaussian型の時間波形とは異なる。すなわち、波形再構成装置140は、一般的な近似により得られる時間波形よりも正確な時間波形を再構成できたと考えられる。

[0057] 次に、上記実験において位相スペクトル算出部143により実行されたシミュレーションと算出された位相スペクトルとの妥当性を検証する。

[0058] 図8は、7種類の入力光信号の強度に対応する出力光信号のパワースペク

トルの実測値と計算値との比較結果を示すグラフである。なお、パワースペクトルの計算値は、繰り返し計算により評価関数が収束したときに得られたパワースペクトルの値である。また、入力光信号の7種類の強度は、強度調節器110の電力が17.2mW、27.5mW、37.8mW、48.1mW、58.4mW、68.7mW、及び79.0mWのときの強度である。

[0059] 図8の(a)～(g)に示すように、実測値801と計算値802とは略一致している。したがって、本実験において、入力光信号の時間波形に敏感に反応する、自己位相変調によるパワースペクトルの変化を正確にシミュレーションできていることが分かる。

[0060] 図9は、分光器130により計測された10種類の入力光信号の強度に対応する出力光信号のパワースペクトルのうち、位相スペクトルの算出に利用されなかった3種類の入力光信号の強度に対応する出力光信号のパワースペクトルの実測値と計算値との比較結果を示すグラフである。なお、パワースペクトルの計算値は、位相スペクトル算出部143により算出された入力光信号の位相スペクトルを用いてシミュレーションしたときの値である。また、位相スペクトルの算出に利用されなかった3種類の入力光信号の強度は、強度調節器110の電力が89.4mW、99.7mW、及び110.0mWのときの強度である。

[0061] 図9の(a)～(c)に示すように、実測値901と計算値902とは略一致している。つまり、焼きなまし法における評価関数の対象としなかった入力光信号の強度においても、位相スペクトル算出部143により算出された位相スペクトルを用いて出力光信号のパワースペクトルが正確に計算されている。したがって、位相スペクトル算出部143により算出された入力光信号の位相スペクトルの精度が高いことがわかる。つまり、位相スペクトル算出部143により算出された入力光信号の位相スペクトルを用いて再構成される入力光信号の時間波形の精度も高いといえることができる。

[0062] 以上のように、上記実施の形態に係る波形再構成システム100及び波形

再構成装置 140 は、自己位相変調を誘起する光ファイバ内を入力光信号が伝播した後に出力される出力光信号のパワースペクトルを用いて、入力光信号の時間波形を再構成することができる。したがって、波形再構成システム 100 及び波形再構成装置 140 では、時間分解分光データが必ずしも必要ではない。すなわち、波形再構成システム 100 は、光信号の時間波形を再構成するために、時間分解分光データを得るために必要な超高速時間ゲート又は参照光源が必ずしも備える必要がないので、光信号の時間波形を簡便に再構成することが可能となる。

[0063] さらに、波形再構成システム 100 及び波形再構成装置 140 は、公知の技術である焼きなまし法に従って位相スペクトルを変化させながら、所定閾値以下となる差分値を探索することができるので、比較的短時間に精度の高い位相スペクトルを算出することが可能となる。

[0064] 以上、本発明の一態様に係る波形再構成装置及び波形再構成システムについて、実施の形態に基づいて説明したが、本発明は、これらの実施の形態に限定されるものではない。本発明の趣旨を逸脱しない限り、当業者が思いつく各種変形を本実施の形態に施したのも、本発明の範囲内に含まれる。

[0065] 例えば、上記実施の形態において、位相スペクトル算出部 143 は、焼きなまし法に従って位相スペクトルを変化させながら差分値が所定閾値以下となる位相スペクトルを探索することにより入力光信号の位相スペクトルを算出したが、本発明の一態様に係る波形再構成装置及び波形再構成システムは、このような波形再構成装置及び波形再構成システムに限定されるわけではない。例えば、位相スペクトル算出部 143 は、遺伝的アルゴリズムに従って位相スペクトルを変化させながら差分値が所定閾値以下となる位相スペクトルを探索してもよい。すなわち、本発明の一態様に係る波形再構成装置及び波形再構成システムは、所定閾値以下となる差分値を評価関数とした場合の評価関数が最小となる位相スペクトルを算出するためのアルゴリズムであれば、どのようなアルゴリズムであってもよい。また例えば、位相スペクトル算出部 143 は、アルゴリズムを用いずに、例えばランダムに位相スペク

トルを変化させながら差分値が所定閾値以下となる位相スペクトルを探索してもよい。

[0066] また、例えば、上記実施の形態では、高非線形光ファイバ120は、四次分散まで考慮されたパラメータが既知である光ファイバであったが、さらに高次の分散まで考慮されたパラメータが既知である光ファイバであってもよい。

[0067] さらに、本発明は、このような波形再構成装置の特徴的な構成要素が行う処理を実行する波形再構成方法として実現することもできる。また、その波形再構成方法を図10に示すようなコンピュータに実行させるためのプログラムとして実現することもできる。そして、そのようなプログラムは、CD-ROM等の記録媒体、インターネット等の伝送媒体を介して配信することができる。

[0068] 図10は、コンピュータのハードウェア構成の一例を示す図である。波形再構成方法をコンピュータに実行させるためのプログラムは、例えば、コンピュータが読取可能な媒体であるCD-ROM515に記憶され、CD-ROM装置514を介して読み出される。また例えば、波形再構成方法をコンピュータに実行させるためのプログラムは、有線若しくは無線ネットワーク、又は放送などを介して伝送される。

[0069] コンピュータ500は、CPU（Central Processing Unit）501、ROM（Read Only Memory）502、RAM（Random Access Memory）503、ハードディスク504、通信インタフェース505等を備える。

[0070] CPU501は、CD-ROM装置514を介して読み出されたプログラム、又は通信インタフェース505を介して受信したプログラムを実行する。具体的には、CPU501は、CD-ROM装置514を介して読み出されたプログラム、又は通信インタフェース505を介して受信したプログラムをRAM503に展開する。そして、CPU501は、RAM503に展開されたプログラム中のコード化された各命令を実行する。

[0071] ROM 502は、コンピュータ500の動作に必要なプログラム及びデータを記憶する読み出し専用メモリである。RAM 503は、CPU 501がプログラムを実行するときにワークエリアとして使用される。具体的には、RAM 503は、例えば、プログラム実行時のパラメータなどのデータを一時的に記憶する。ハードディスク504は、プログラム、データなどを記憶する。

[0072] 通信インタフェース505は、ネットワークを介して他のコンピュータとの通信を行なう。バス506は、CPU 501、ROM 502、RAM 503、ハードディスク504、通信インタフェース505、ディスプレイ511、キーボード512、マウス513及びCD-ROM装置514を相互に接続する。

産業上の利用可能性

[0073] 本発明の一態様に係る波形再構成装置及び波形再構成システムは、光通信等の研究分野で用いられる超高速光パルスの時間波形の測定装置として利用することができる。特に近年、位相を用いた光通信符号の利用及び光パルスの状態に敏感な非線形光信号処理が盛んに研究又は利用されるようになってきていることから、簡便に正確な時間波形を測定可能な本発明の一態様に係る波形再構成装置及び波形再構成システムは、産業分野だけでなく基礎科学分野にも非常に有用である。

符号の説明

[0074] 100 波形再構成システム
110 強度調節器
120 高非線形光ファイバ
130 分光器
140 波形再構成装置
141 入力スペクトル取得部
142 出力スペクトル取得部
143 位相スペクトル算出部

1 4 4 波形再構成部

請求の範囲

[請求項1]

入力光信号の時間波形を再構成する波形再構成装置であって、
前記入力光信号のパワースペクトルを取得する入力スペクトル取得部と、

自己位相変調を誘起する光ファイバ内を前記入力光信号が伝播した後
に出力される出力光信号を計測することにより得られるパワースペ
クトルを計測パワースペクトルとして、複数の強度の前記入力光信号
ごとに取得する出力スペクトル取得部と、

前記光ファイバの自己位相変調に関するパラメータを用いて前記入
力光信号の前記光ファイバ内の伝播をシミュレーションすることによ
り、前記複数の強度の入力光信号の位相スペクトルが所与の位相スペ
クトルを有すると仮定した場合における出力光信号のパワースペクト
ルを計算パワースペクトルとして前記複数の強度の入力光信号ごとに
計算し、前記計算パワースペクトルと前記計測パワースペクトルとの
差分値が所定閾値以下となる前記所与の位相スペクトルを前記入力光
信号の位相スペクトルとして算出する位相スペクトル算出部と、

前記位相スペクトル算出部により算出された位相スペクトルと、前
記入力スペクトル取得部により取得されたパワースペクトルとを周波
数／時間変換することにより、前記入力光信号の時間波形を再構成す
る波形再構成部とを備える

波形再構成装置。

[請求項2]

前記位相スペクトル算出部は、予め定められたアルゴリズムに従っ
て前記所与の位相スペクトルを変化させながら前記差分値が前記所定
閾値以下となる前記所与の位相スペクトルを探索することにより、前
記入力光信号の位相スペクトルを算出する

請求項 1 に記載の波形再構成装置。

[請求項3]

入力光信号の時間波形を再構成する波形再構成システムであって、
前記入力光信号の強度を互いに異なる複数の強度に変化させる強度

調節器と、

当該光ファイバ内を伝播する光信号の自己位相変調を誘起する光ファイバであって、前記自己位相変調に関するパラメータが既知である光ファイバと、

前記強度調節器により強度が変化された前記入力光信号が前記光ファイバ内を伝播した後に出力される出力光信号のパワースペクトルを前記複数の強度ごとに計測するスペクトル計測器と、

請求項 1 に記載の波形再構成装置とを備え、

前記出力スペクトル取得部は、前記スペクトル計測器により計測されたパワースペクトルを計測パワースペクトルとして取得する

波形再構成システム。

[請求項4] 前記光ファイバは、少なくとも二次、三次及び四次分散の自己位相変調に関するパラメータが既知である

請求項 3 に記載の波形再構成システム。

[請求項5] 入力光信号の時間波形を再構成する波形再構成方法であって、

前記入力光信号のパワースペクトルを取得する入力スペクトル取得ステップと、

自己位相変調を誘起する光ファイバ内を前記入力光信号が伝播した後に出力される出力光信号を計測することにより得られるパワースペクトルを計測パワースペクトルとして、複数の強度の前記入力光信号ごとに取得する出力スペクトル取得ステップと、

前記光ファイバの自己位相変調に関するパラメータを用いて前記入力光信号の前記光ファイバ内の伝播をシミュレーションすることにより、前記複数の強度の入力光信号の位相スペクトルが所与の位相スペクトルを有すると仮定した場合における出力光信号のパワースペクトルを計算パワースペクトルとして前記複数の強度の入力光信号ごとに計算し、前記計算パワースペクトルと前記計測パワースペクトルとの差分値が所定閾値以下となる前記所与の位相スペクトルを前記入力光

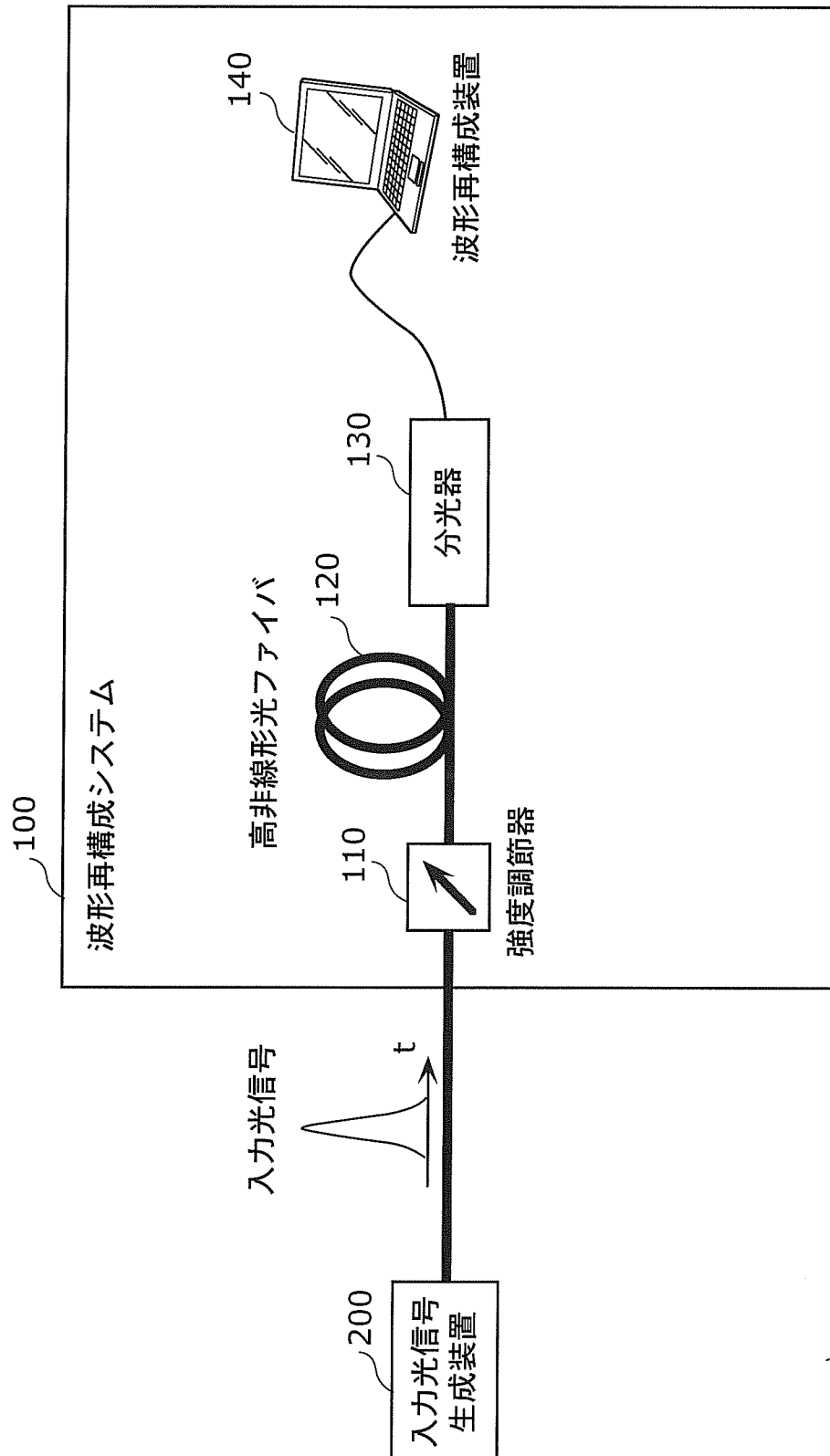
信号の位相スペクトルとして算出する位相スペクトル算出ステップと、

前記位相スペクトル算出ステップにおいて算出された位相スペクトルと、前記入力スペクトル取得ステップにおいて取得されたパワースペクトルとを周波数／時間変換することにより、前記入力光信号の時間波形を再構成する波形再構成ステップとを含む

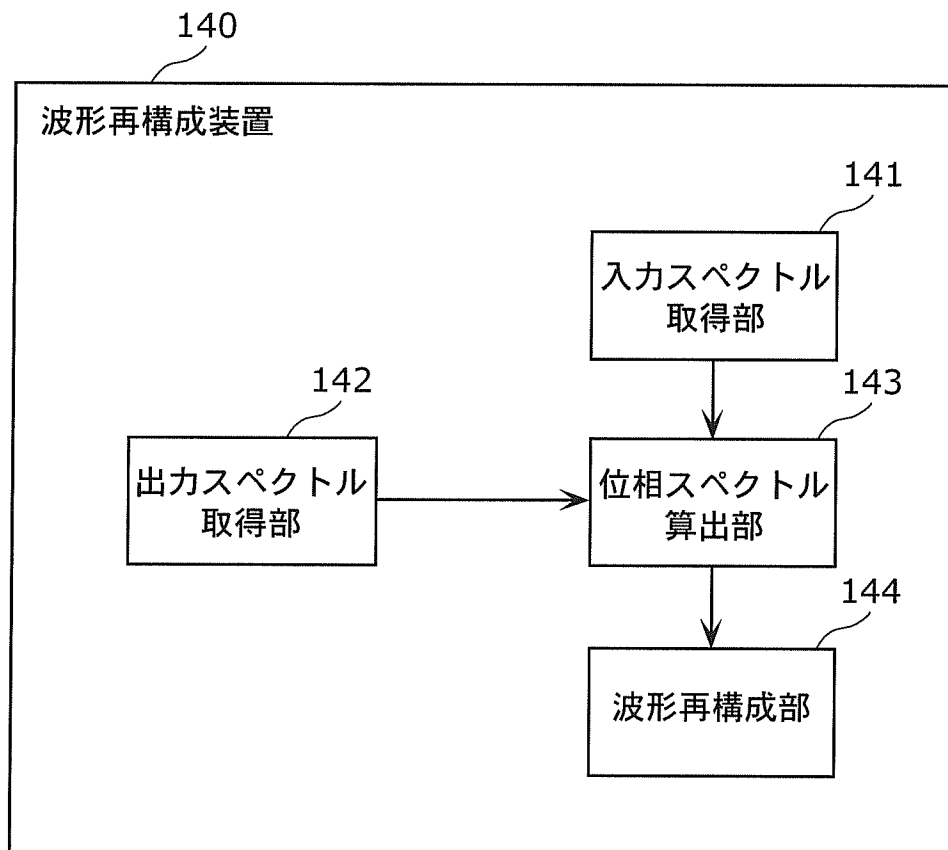
波形再構成方法。

[請求項6] 請求項5に記載の波形再構成方法をコンピュータに実行させるためのプログラム。

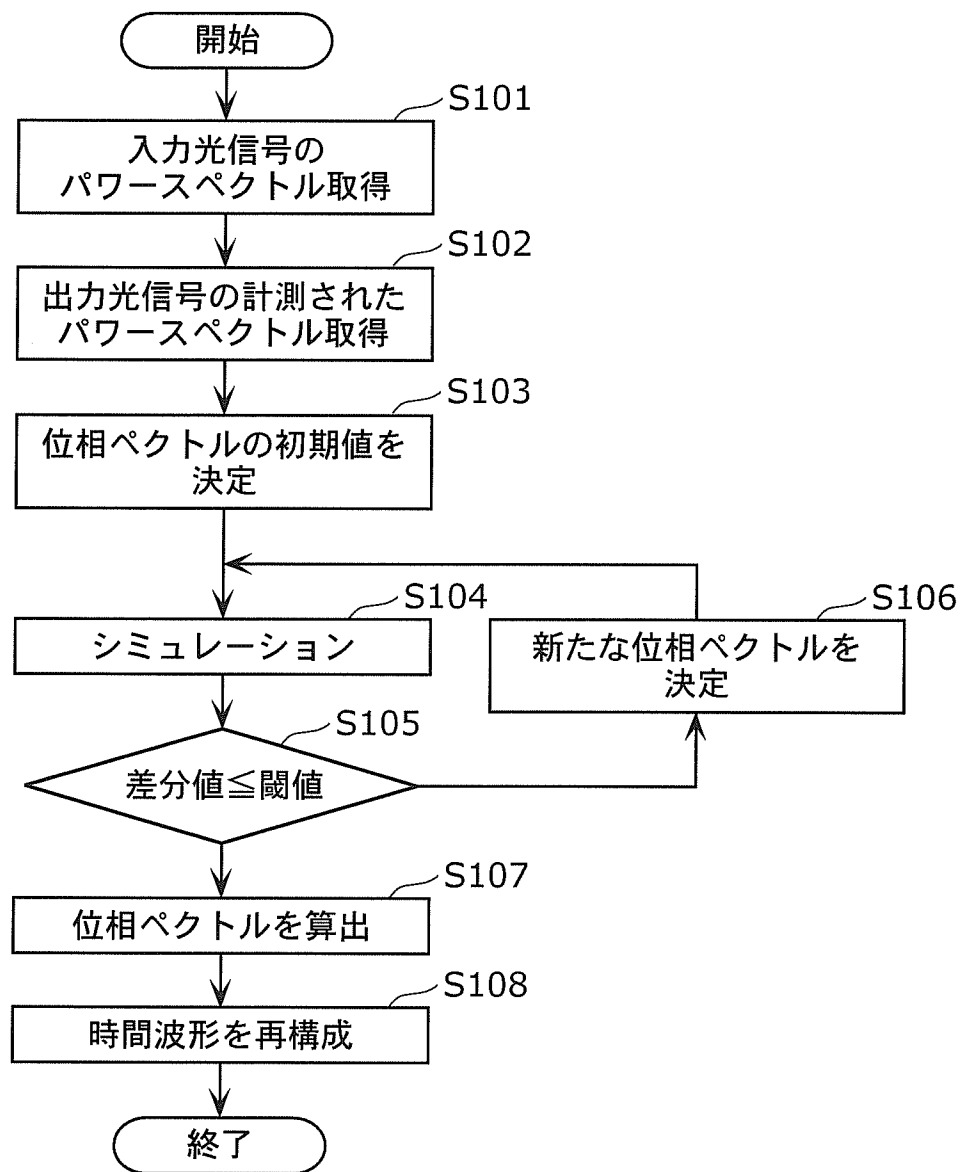
[図1]



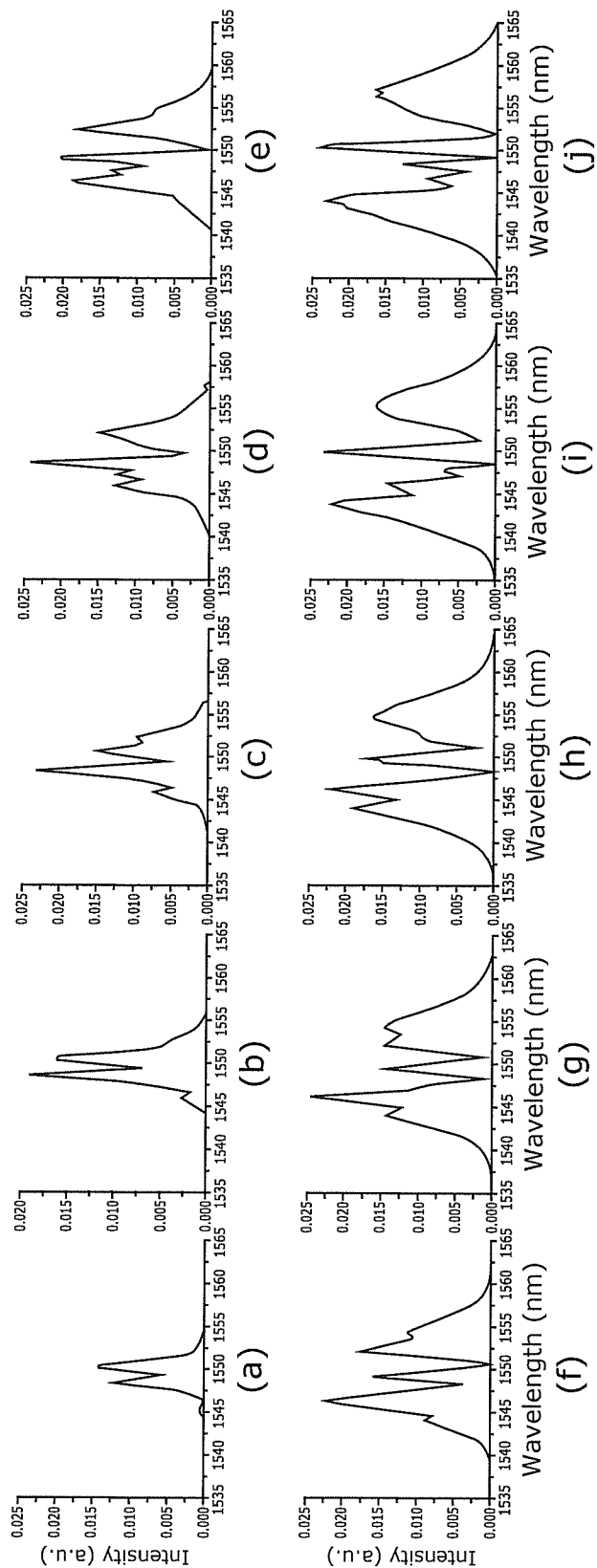
[図2]



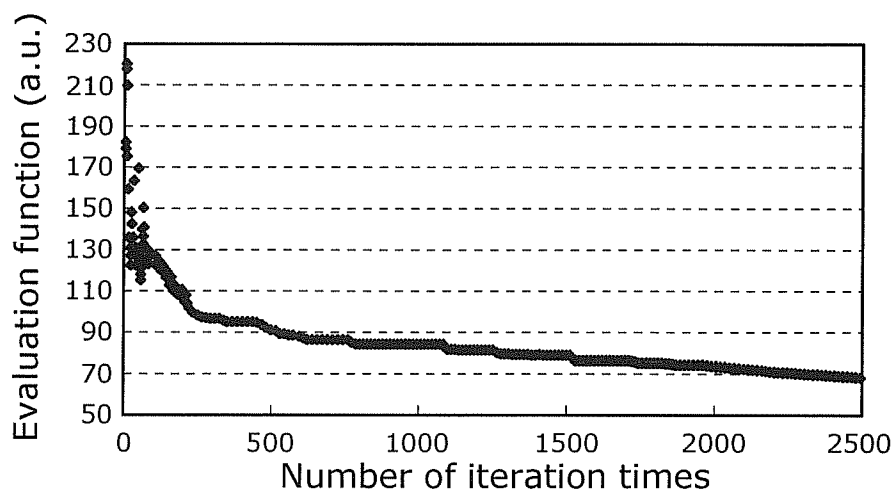
[図3]



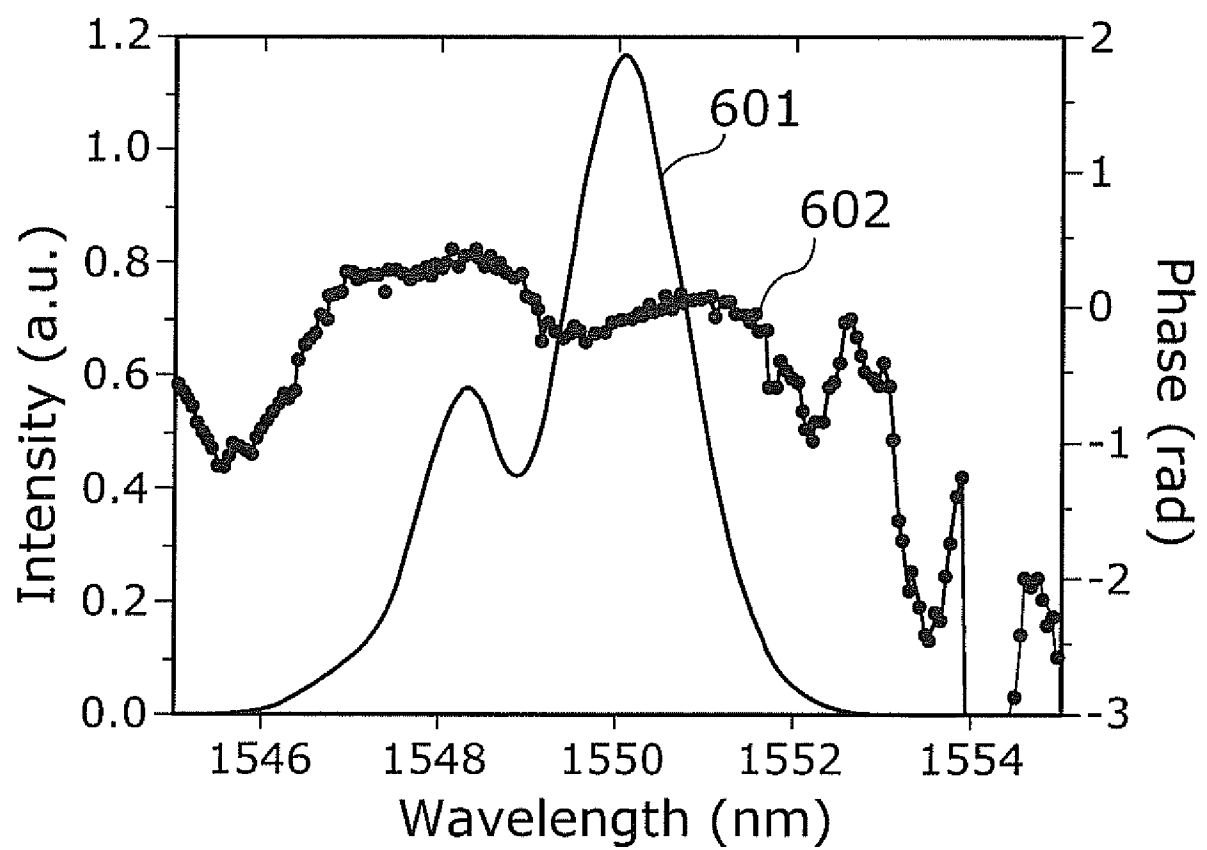
[図4]



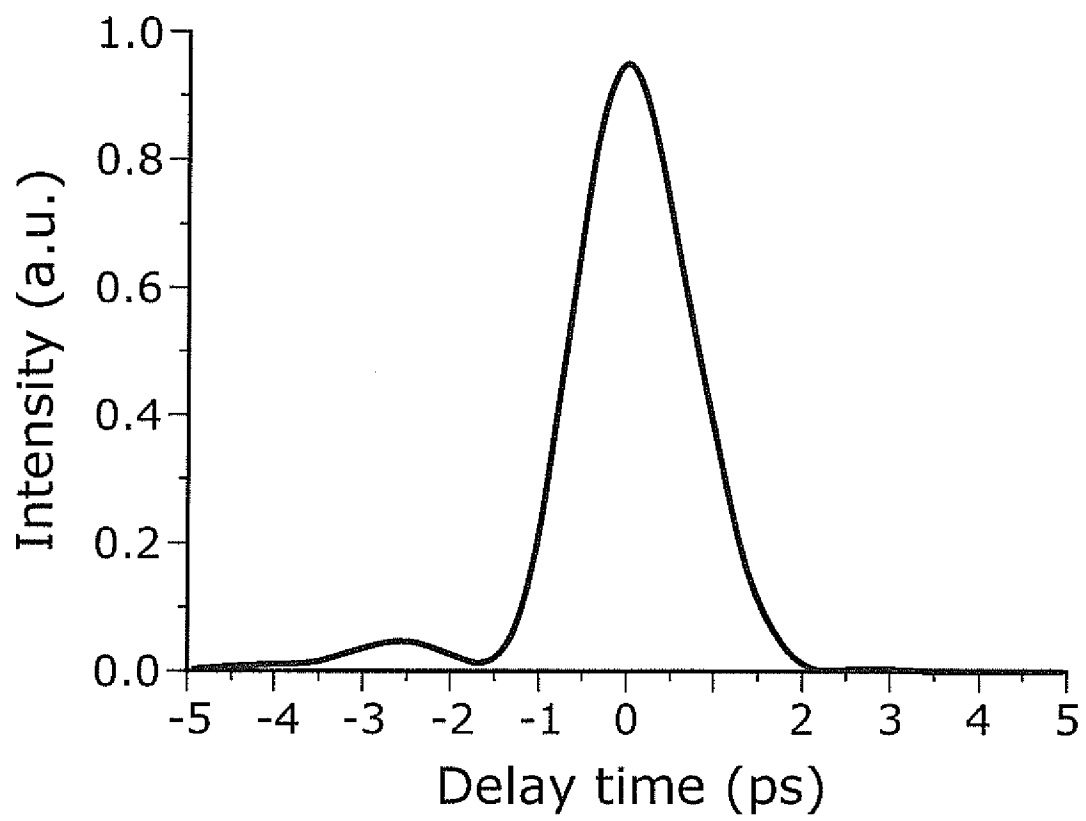
[図5]



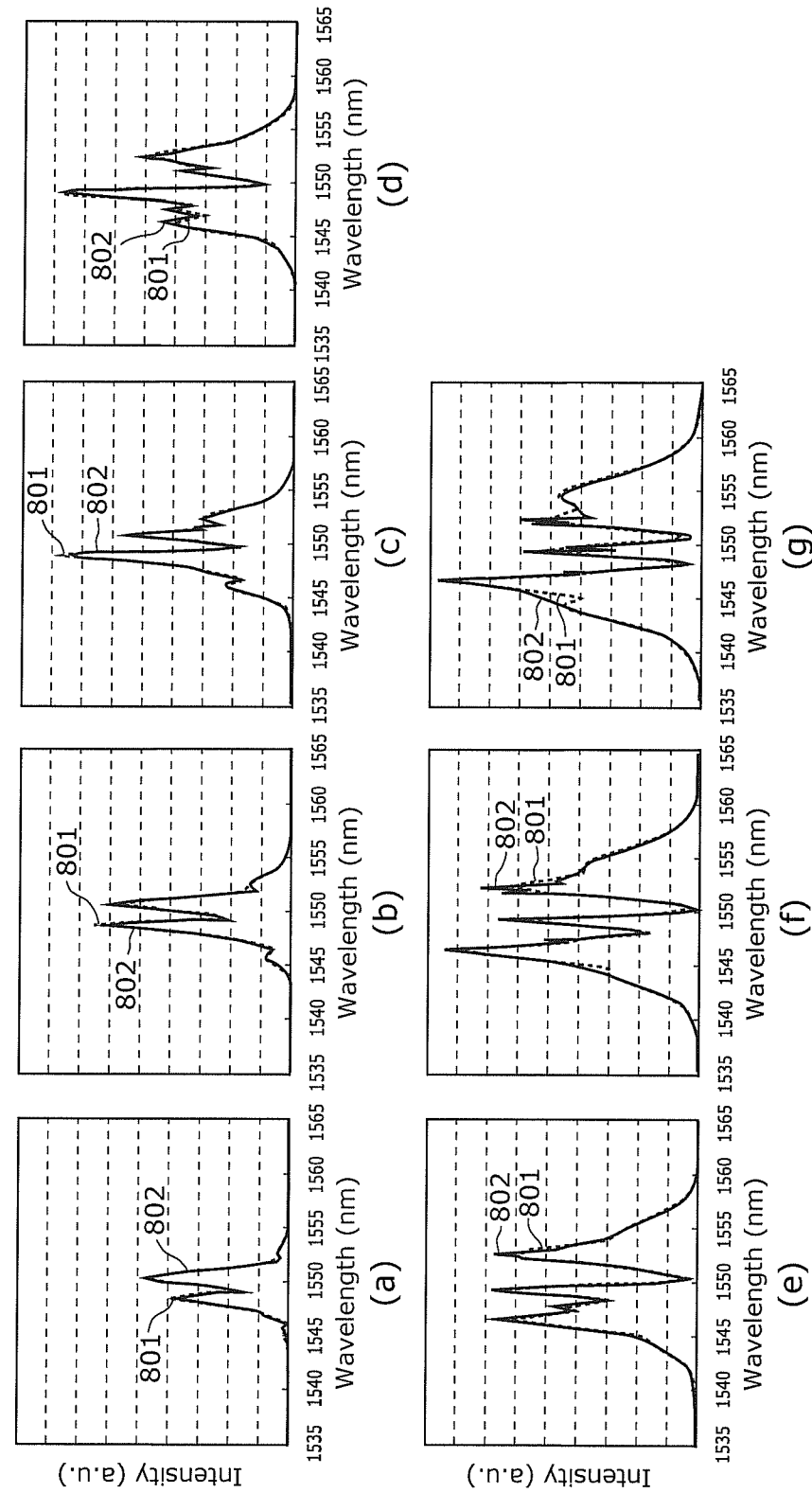
[図6]



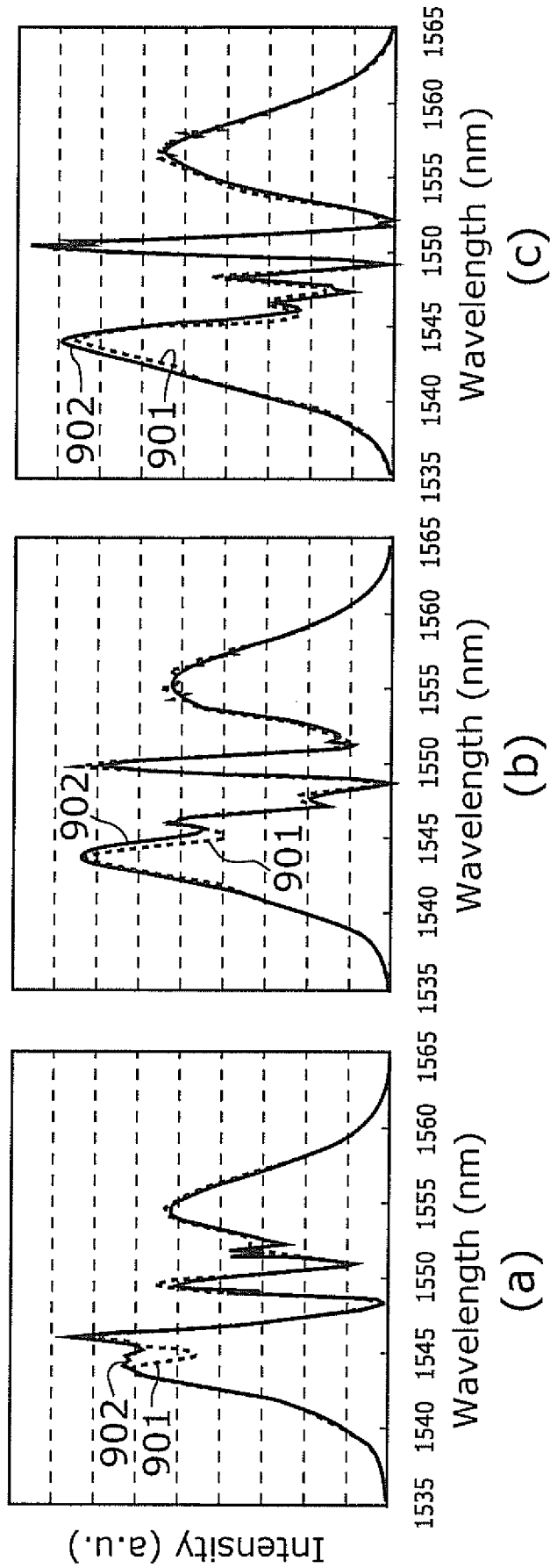
[図7]



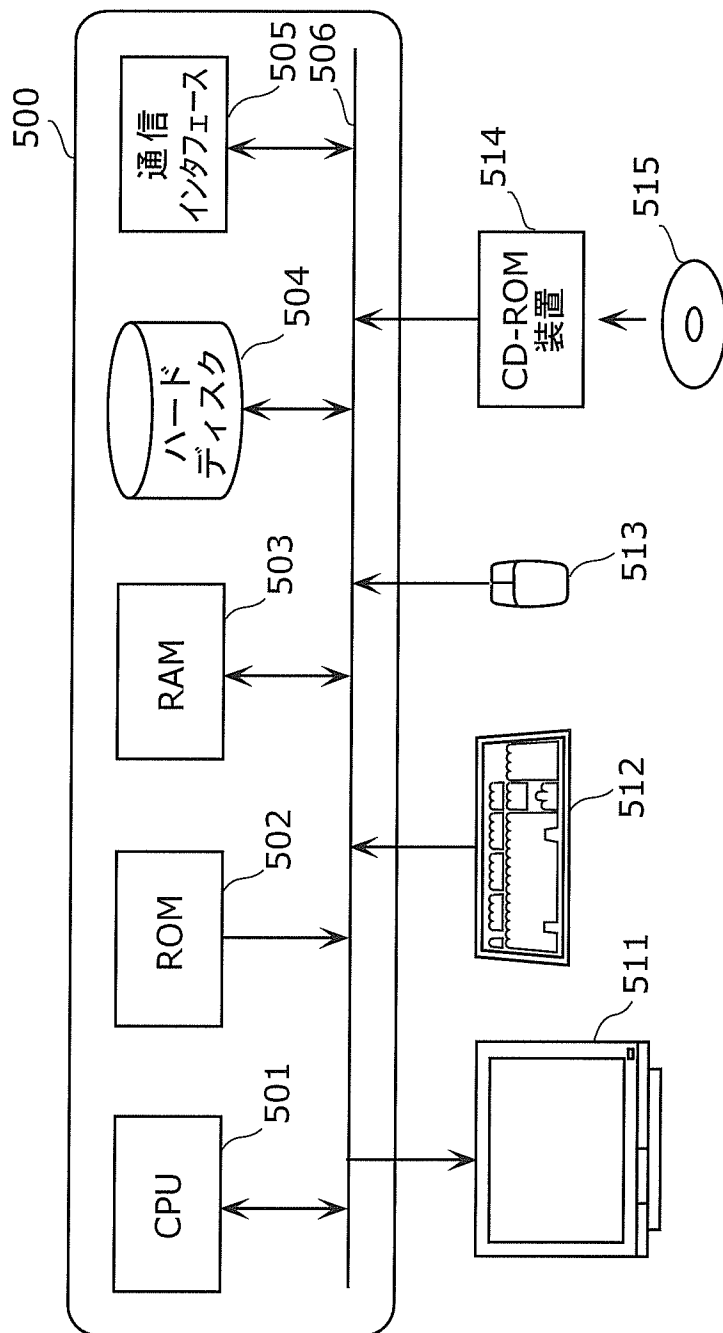
[図8]



[図9]



[図10]



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2010/001397

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

G01J11/00 (2006.01) i, G01J3/28 (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)

G01J1/00-G01J11/00

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	1996-2010
Kokai Jitsuyo Shinan Koho	1971-2010	Toroku Jitsuyo Shinan Koho	1994-2010

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)

JSTPlus (JDreamII)

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	WO 2006/102056 A1 (THE BOARD OF TRUSTEES OF THE LELAND STANFORD JUNIOR UNIVERSITY), 28 September 2006 (28.09.2006), paragraphs [0050] to [0059], [0068], [0077] to [0078], [0089] to [0092]; fig. 3, 7 to 11	1-6
A	JP 2005-315858 A (Santec Corp.), 10 November 2005 (10.11.2005), paragraphs [0035] to [0050]; fig. 1 to 6	1
A	JP 2002-118315 A (IMRA AMERICA, INC.), 19 April 2002 (19.04.2002), paragraphs [0017] to [0020]	1

☒ Further documents are listed in the continuation of Box C.☒ See patent family annex.

* Special categories of cited documents:

"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance

"E" earlier application or patent but published on or after the international filing date

"L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)

"O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means

"P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

"T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention

"X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone

"Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art

"&" document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search
23 March, 2010 (23.03.10)Date of mailing of the international search report
06 April, 2010 (06.04.10)Name and mailing address of the ISA/
Japanese Patent Office

Authorized officer

Facsimile No.

Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2010/001397

C (Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	M. Sato, <i>et.al.</i> , "Adaptive Pulse Shaping of Femtosecond Laser Pulses in Amplitude and Phase through a Single-Mode Fiber by Referring to Frequency-Resolved Optical Gating Patterns", JAPANESE JOURNAL OF APPLIED PHYSICS, Vol.41, Part 1, No.6A, 2002.06.15, pp.3704-3709 Passage 3.1	1
A	C.Dorrer, <i>et.al.</i> , "Highly sensitive direct characterization of femtosecond pulses by electro-optic spectral shearing interferometry", OPTICS LETTERS, Vol.28, No.6, 2003.03.15, pp. 477-479 Fig. 1	1
A	Hiroomi GOTO <i>et al.</i> , "[Encouragement Talk] All-optical limiter based on signal from transformation -In search of ideal limiting characteristics-", [IEICE Technical Report], vol.108, no.476, 02 March 2009 (02.03.2009), pages 23 to 28	1
P,A	Kentaro KAWANISHI <i>et al.</i> , "Hi Senkei Kogaku Koka no Heiko Jotai o Riyo shita Ko Seido Zenko Kyodo Limiter ni yoru Hikari Shingo Shori no Anteika ni Kansuru Kento", 2009 Nen The Institute of Electronics, Information and Communication Engineers Sogo Taikai Koen Ronbunshu Tsushin [2], 04 March 2009 (04.03.2009), page 487 [B-12-26]	1

INTERNATIONAL SEARCH REPORT
Information on patent family members

International application No.

PCT/JP2010/001397

WO 2006/102056 A1	2006.09.28	AT 441839 T	2009.09.15
		EP 1859242 A1	2007.11.28
		EP 1859242 B1	2009.09.02
		EP 1866615 A1	2007.12.19
		EP 1866616 A1	2007.12.19
		US 2007/055466 A1	2007.03.08
		US 7313493 B2	2007.12.25
		US 2007/027689 A1	2007.02.01
		US 7369953 B2	2008.05.06
		US 2007/025638 A1	2007.02.01
		US 7643952 B2	2010.01.05
		US 2008/172435 A1	2008.07.17
		WO 2006/107765 A1	2006.10.12
		WO 2006/107795 A1	2006.10.12
JP 2005-315858 A	2005.11.10	US 2005/219543 A1	2005.10.06
		US 7450239 B2	2008.11.11
JP 2002-118315 A	2002.04.19	DE 10124983 A1	2002.03.07
		DE 112004002187 T5	2007.12.13
		US 6885683 B1	2005.04.26
		US 2005/018714 A1	2005.01.27
		US 2005/163426 A1	2005.07.28
		US 2004/213302 A1	2004.10.28
		US 2005/111500 A1	2005.05.26
		US 2006/198398 A1	2006.09.07
		US 2007/103765 A1	2007.05.10
		US 2008/232407 A1	2008.09.25
		US 2010/046066 A1	2010.02.25
		US 2010/046067 A1	2010.02.25
		WO 2005/017955 A2	2005.02.24
		WO 2005/017955 A3	2005.05.12
		WO 2005/048417 A2	2005.05.26
		WO 2005/048417 A3	2006.01.26
		WO 2006/042312 A2	2006.04.20
		WO 2006/042312 A3	2008.11.27

A. 発明の属する分野の分類 (国際特許分類 (I P C))

Int.Cl. G01J11/00(2006.01)i, G01J3/28(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 (I P C))

Int.Cl. G01J1/00 - G01J11/00

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	1 9 2 2 - 1 9 9 6 年
日本国公開実用新案公報	1 9 7 1 - 2 0 1 0 年
日本国実用新案登録公報	1 9 9 6 - 2 0 1 0 年
日本国登録実用新案公報	1 9 9 4 - 2 0 1 0 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(JDreamII)

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
A	WO 2006/102056 A1 (THE BOARD OF TRUSTEES OF THE LELAND STANFORD JUNIOR UNIVERSITY) 2006.09.28 [0050]-[0059], [0068], [0077]-[0078], [0089]-[0092], FIGs. 3, 7-11	1-6
A	JP 2005-315858 A (サンテック株式会社) 2005.11.10, [0035]-[0050], 図 1-6	1
A	JP 2002-118315 A (IMRA AMERICA, INC.) 2002.04.19, [0017]-[0020]	1

☒ C 欄の続きにも文献が列挙されている。☒ パテントファミリーに関する別紙を参照。

* 引用文献のカテゴリー

「A」特に関連のある文献ではなく、一般的技術水準を示すもの
「E」国際出願日前の出願または特許であるが、国際出願日以後に公表されたもの
「L」優先権主張に疑義を提起する文献又は他の文献の発行日若しくは他の特別な理由を確立するために引用する文献 (理由を付す)
「O」口頭による開示、使用、展示等に言及する文献
「P」国際出願日前で、かつ優先権の主張の基礎となる出願

の日の後に公表された文献
「T」国際出願日又は優先日後に公表された文献であって出願と矛盾するものではなく、発明の原理又は理論の理解のために引用するもの
「X」特に関連のある文献であって、当該文献のみで発明の新規性又は進歩性がないと考えられるもの
「Y」特に関連のある文献であって、当該文献と他の 1 以上の文献との、当業者にとって自明である組合せによって進歩性がないと考えられるもの
「&」同一パテントファミリー文献

国際調査を完了した日

2 3 . 0 3 . 2 0 1 0

国際調査報告の発送日

0 6 . 0 4 . 2 0 1 0

国際調査機関の名称及びあて先

日本国特許庁 (I S A / J P)

郵便番号 1 0 0 - 8 9 1 5

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)

高場 正光

電話番号 0 3 - 3 5 8 1 - 1 1 0 1 内線 3 2 9 2

2 W

2 9 1 0

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	M. Sato, <i>et. al.</i> , “Adaptive Pulse Shaping of Femtosecond Laser Pulses in Amplitude and Phase through a Single-Mode Fiber by Referring to Frequency-Resolved Optical Gating Patterns” , JAPANESE JOURNAL OF APPLIED PHYSICS, Vol.41, Part 1, No. 6A, 2002.06.15, pp.3704-3709 第 3.1 節	1
A	C.Dorrer, <i>et. al.</i> , “Highly sensitive direct characterization of femtosecond pulses by electro-optic spectral shearing interferometry” , OPTICS LETTERS, Vol.28, No. 6, 2003.03.15, pp.477-479 Fig.1	1
A	後藤洋臣, 他, “[奨励講演] 信号形態変換に基づいた全光リミッター理想的なリミッター特性を求めてー [Encouragement Talk] All-optical limiter based on signal from transformation -In serach of ideal limiting charactersitics-” , 電子情報通信学会技術研究報告 [IEICE Technical Report] , Vol.108, No.476, 2009.03.02, pp.23-28	1
P, A	川西健太郎, 他, “非線形光学効果の平衡状態を利用した高精度全光強度リミッターによる光信号処理の安定化に関する検討” , 2009 年 電子情報通信学会総合大会 講演論文集 通信 [2], 2009.03.04, p. 487 [B-12-26]	1

WO 2006/102056 A1	2006. 09. 28	AT 441839 T	2009. 09. 15
		EP 1859242 A1	2007. 11. 28
		EP 1859242 B1	2009. 09. 02
		EP 1866615 A1	2007. 12. 19
		EP 1866616 A1	2007. 12. 19
		US 2007/055466 A1	2007. 03. 08
		US 7313493 B2	2007. 12. 25
		US 2007/027689 A1	2007. 02. 01
		US 7369953 B2	2008. 05. 06
		US 2007/025638 A1	2007. 02. 01
		US 7643952 B2	2010. 01. 05
		US 2008/172435 A1	2008. 07. 17
		WO 2006/107765 A1	2006. 10. 12
		WO 2006/107795 A1	2006. 10. 12
-----	-----	-----	-----
JP 2005-315858 A	2005. 11. 10	US 2005/219543 A1	2005. 10. 06
		US 7450239 B2	2008. 11. 11
-----	-----	-----	-----
JP 2002-118315 A	2002. 04. 19	DE 10124983 A1	2002. 03. 07
		DE 112004002187 T5	2007. 12. 13
		US 6885683 B1	2005. 04. 26
		US 2005/018714 A1	2005. 01. 27
		US 2005/163426 A1	2005. 07. 28
		US 2004/213302 A1	2004. 10. 28
		US 2005/111500 A1	2005. 05. 26
		US 2006/198398 A1	2006. 09. 07
		US 2007/103765 A1	2007. 05. 10
		US 2008/232407 A1	2008. 09. 25
		US 2010/046066 A1	2010. 02. 25
		US 2010/046067 A1	2010. 02. 25
		WO 2005/017955 A2	2005. 02. 24
		WO 2005/017955 A3	2005. 05. 12
		WO 2005/048417 A2	2005. 05. 26
		WO 2005/048417 A3	2006. 01. 26
		WO 2006/042312 A2	2006. 04. 20
		WO 2006/042312 A3	2008. 11. 27