

(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
2018年3月8日(08.03.2018)



(10) 国際公開番号

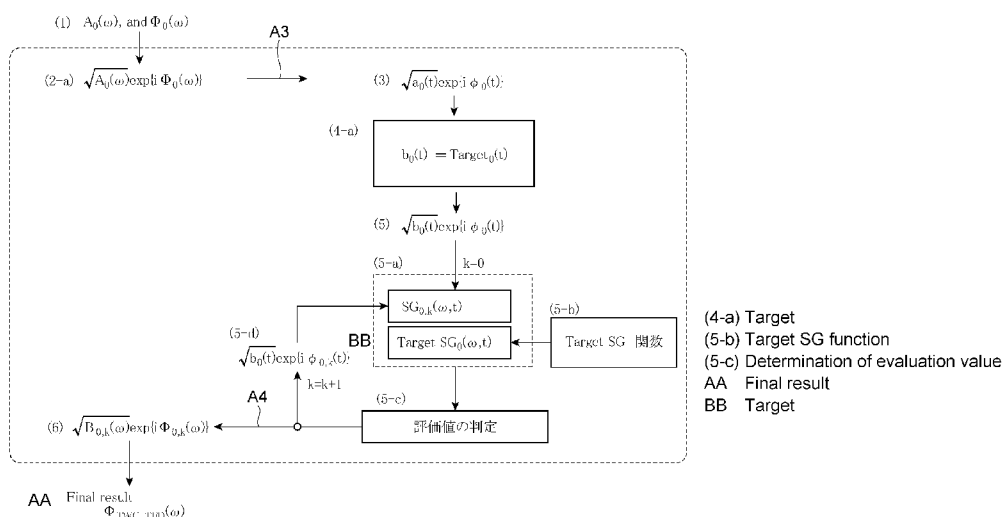
WO 2018/042983 A1

- (51) 国際特許分類:
G02F 1/01 (2006.01)
- (21) 国際出願番号: PCT/JP2017/027501
- (22) 国際出願日: 2017年7月28日(28.07.2017)
- (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 2016-169297 2016年8月31日(31.08.2016) JP
- (71) 出願人: 浜 松 ホ ト ニ ク ス 株 式 会 社 (HAMAMATSU PHOTONICS K.K.) [JP/JP];
〒4358558 静岡県浜松市東区市野町 1 1 2 6 番地の 1 Shizuoka (JP).
- (72) 発明者: 渡 辺 向 陽 (WATANABE Koyo);
〒4358558 静岡県浜松市東区市野町 1 1 2 6 番地の 1 浜松ホトニクス株式会社内 Shizuoka (JP). 高橋 考二(TAKAHASHI Koji); 〒4358558 静岡県浜松市東区市野町 1 1 2 6 番地の 1 浜松ホトニクス株式会社内 Shizuoka (JP). 井上 卓(INOUE Takashi); 〒4358558 静岡県浜松市東区市野町 1 1 2 6 番地の 1 浜松ホトニクス株式会社内 Shizuoka (JP).
- (74) 代理人: 長谷川 芳樹, 外(HASEGAWA Yoshiki et al.); 〒1000005 東京都千代田区丸の内二丁目 1 番 1 号丸の内 M Y P L A Z A (明治安田生命ビル) 9 階 創英国際特許法律事務所 Tokyo (JP).

(54) Title: DATA CREATION DEVICE, LIGHT CONTROL DEVICE, DATA CREATION METHOD, AND DATA CREATION PROGRAM

(54) 発明の名称: データ作成装置、光制御装置、データ作成方法、及びデータ作成プログラム

〔図8〕



(57) Abstract: In the present invention, a Fourier transform is performed on a first waveform function in a frequency region including an intensity spectrum function and a phase spectrum function, and a second waveform function in a time region including a time-intensity waveform function and a time-phase waveform function is generated. Substitution of a time-intensity waveform function based on a desired waveform is performed for the second waveform function. The second waveform function is corrected so that a spectrogram of the second waveform function approaches a target spectrogram generated in advance in accordance with a desired wavelength band. An inverse Fourier transform is performed



(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, BN, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DJ, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IR, IS, JO, KE, KG, KH, KN, KP, KR, KW, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PA, PE, PG, PH, PL, PT, QA, RO, RS, RU, RW, SA, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, 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, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SD, SL, ST, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), ユーラシア (AM, AZ, BY, KG, KZ, RU, TJ, TM), ヨーロッパ (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), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, KM, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

添付公開書類:

一 国際調査報告(条約第21条(3))

on the corrected second waveform function, and a third waveform function in the frequency region is generated. Data are generated on the basis of an intensity spectrum function or a phase spectrum function of the third waveform function. The wavelength component (frequency component) of light constituting the time-intensity waveform can thereby be controlled.

(57) 要約: 強度スペクトル関数及び位相スペクトル関数を含む周波数領域の第1波形関数に対してフーリエ変換を行い、時間強度波形関数及び時間位相波形関数を含む時間領域の第2波形関数を生成する。第2波形関数に対し、所望の波形に基づく時間強度波形関数の置き換えを行う。所望の波長帯域に従って予め生成されたターゲットスペクトログラムに第2波形関数のスペクトログラムが近づくように、第2波形関数を修正する。修正後の第2波形関数に対して逆フーリエ変換を行い、周波数領域の第3波形関数を生成する。第3波形関数の強度スペクトル関数又は位相スペクトル関数に基づいてデータを生成する。これにより、時間強度波形を構成する光の波長成分(周波数成分)を制御することが可能となる。

明 細 書

発明の名称：

データ作成装置、光制御装置、データ作成方法、及びデータ作成プログラム

技術分野

[0001] 本開示は、データ作成装置、光制御装置、データ作成方法、及びデータ作成プログラムに関するものである。

背景技術

[0002] 非特許文献1には、空間光変調器 (Spatial Light Modulator : SLM) を用いて位相スペクトルを変調することにより、光パルスを成形する技術が開示されている。この文献では、所望の光パルス波形を得るための位相スペクトルを、反復フーリエ法を用いて算出している。

先行技術文献

非特許文献

[0003] 非特許文献1 : M. Hacker, G. Stobrawa, T. Feurer, “Iterative Fourier transform algorithm for phase-only pulse shaping”, Optics Express, Vol. 9, No. 4, pp.191-199, 2001

非特許文献2 : Olivier Ripoll, Ville Kettunen, Hans Peter Herzig, “Review of iterative Fourier-transform algorithms for beam shaping applications”, Optical Engineering, Vol. 43, No. 11, pp.2549-2556, 2004

発明の概要

発明が解決しようとする課題

[0004] 例えば超短パルス光といった種々の光の時間波形を制御するための技術として、光パルスの位相スペクトル及び強度スペクトルをSLMによって変調するものがある。このような技術では、光の時間強度波形を所望の波形に近づけるための位相スペクトル及び強度スペクトルを算出し、その位相スペク

トル及び強度スペクトルを光に与えるための変調パターンをSLMに呈示させる。

[0005] しかしながら、従来のこのような技術においては、時間強度波形の形状の制御しかできず、時間強度波形を構成する光の波長成分（周波数成分）を制御することはできない。例えば、複数のパルスを含む出力光を生成する場合、複数のパルス毎に波長を異ならせることができれば、レーザ加工装置、超高速撮像カメラ、テラヘルツ波発生装置など様々な装置への応用が可能となる。

[0006] 実施形態は、時間強度波形を構成する光の波長成分（周波数成分）を制御することが可能なデータ作成装置、光制御装置、データ作成方法、及びデータ作成プログラム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] 本発明の実施形態は、データ作成装置である。データ作成装置は、空間光変調器を制御するデータを作成する装置であって、強度スペクトル関数及び位相スペクトル関数を含む周波数領域の第1波形関数に対してフーリエ変換を行い、時間強度波形関数及び時間位相波形関数を含む時間領域の第2波形関数を生成するフーリエ変換部と、第2波形関数に対し、所望の波形に基づく時間強度波形関数の置き換えを行う関数置換部と、所望の波形及び所望の波長帯域に従って予め生成されたターゲットスペクトログラムに第2波形関数のスペクトログラムが近づくように第2波形関数を修正する波形関数修正部と、修正後の第2波形関数に対して逆フーリエ変換を行い、周波数領域の第3波形関数を生成する逆フーリエ変換部と、第3波形関数の強度スペクトル関数又は位相スペクトル関数に基づいてデータを生成するデータ生成部と、を備える。

[0008] 本発明の実施形態は、データ作成方法である。データ作成方法は、空間光変調器を制御するデータを作成する方法であって、強度スペクトル関数及び位相スペクトル関数を含む周波数領域の第1波形関数に対してフーリエ変換を行い、時間強度波形関数及び時間位相波形関数を含む時間領域の第2波形

関数を生成するフーリエ変換ステップと、第2波形関数に対し、所望の波形に基づく時間強度波形関数の置き換えを行う関数置換ステップと、所望の波形及び所望の波長帯域に従って予め生成されたターゲットスペクトログラムに第2波形関数のスペクトログラムが近づくように第2波形関数を修正する波形関数修正ステップと、修正後の第2波形関数に対して逆フーリエ変換を行い、周波数領域の第3波形関数を生成する逆フーリエ変換ステップと、第3波形関数の強度スペクトル関数又は位相スペクトル関数に基づいてデータを生成するデータ生成ステップと、を含む。

[0009] 本発明の実施形態は、データ作成プログラムである。データ作成プログラムは、空間光変調器を制御するデータを作成するプログラムであって、強度スペクトル関数及び位相スペクトル関数を含む周波数領域の第1波形関数に対してフーリエ変換を行い、時間強度波形関数及び時間位相波形関数を含む時間領域の第2波形関数を生成するフーリエ変換ステップと、第2波形関数に対し、所望の波形に基づく時間強度波形関数の置き換えを行う関数置換ステップと、所望の波形及び所望の波長帯域に従って予め生成されたターゲットスペクトログラムに第2波形関数のスペクトログラムが近づくように第2波形関数を修正する波形関数修正ステップと、修正後の第2波形関数に対して逆フーリエ変換を行い、周波数領域の第3波形関数を生成する逆フーリエ変換ステップと、第3波形関数の強度スペクトル関数又は位相スペクトル関数に基づいてデータを生成するデータ生成ステップと、をコンピュータに実行させる。

[0010] これらの装置、方法、及びプログラムにおいては、周波数領域の第1波形関数に対してフーリエ変換を行うことにより時間領域の第2波形関数を生成したのち、第2波形関数に対し、所望の波形に基づく時間強度波形関数の置き換えを行う。時間強度波形関数の置き換えののち、逆フーリエ変換の前に、ターゲットスペクトログラムに第2波形関数のスペクトログラムが近づくように第2波形関数を修正する。

[0011] このターゲットスペクトログラムは所望の波形及び所望の波長帯域に従っ

て予め生成されたものであり、この処理によって、第2波形関数の波長帯域は、所望の波長帯域に修正される。従って、第2波形関数を逆フーリエ変換して得られる第3波形関数もまた、所望の波長帯域内の関数となる。そして、空間光変調器を制御するデータは、第3波形関数の強度スペクトル関数又は位相スペクトル関数に基づいて生成される。以上より、上記の装置、方法、及びプログラムによれば、時間強度波形を構成する光の波長成分（周波数成分）を制御することが可能となる。

[0012] また、別の実施形態は、光制御装置である。光制御装置は、入力光を出力する光源と、入力光を分光する分光素子と、分光後の入力光の強度スペクトルもしくは位相スペクトルの少なくともいずれか一方を変調し、変調光を出力する空間光変調器と、変調光を集光する光学系と、を備え、空間光変調器は、上記構成のデータ作成装置により作成されたデータに基づいて入力光の強度スペクトルもしくは位相スペクトルの少なくともいずれか一方を変調する。

[0013] この光制御装置によれば、上記構成のデータ作成装置により作成されたデータに基づいて空間光変調器を制御することによって、時間強度波形を構成する光の波長成分（周波数成分）を制御することが可能となる。

発明の効果

[0014] 実施形態によるデータ作成装置、光制御装置、データ作成方法、及びデータ作成プログラムによれば、時間強度波形を構成する光の波長成分（周波数成分）を制御することができる。

図面の簡単な説明

[0015] [図1]図1は、一実施形態に係る光制御装置の構成を概略的に示す図である。

[図2]図2は、光制御装置が備える光学系の構成を示す図である。

[図3]図3は、SLMの変調面を示す図である。

[図4]図4は、(a)単パルス状の入力光のスペクトル波形を示す図、及び(b)入力光の時間強度波形を示す図である。

[図5]図5は、(a)SLMにおいて矩形波状の位相スペクトル変調を与えた

ときの出力光のスペクトル波形を示す図、及び（b）出力光の時間強度波形を示す図である。

[図6]図6は、位相スペクトル設計部及び強度スペクトル設計部の内部構成を示すブロック図である。

[図7]図7は、反復フーリエ変換法による位相スペクトルの計算手順を示す図である。

[図8]図8は、位相スペクトル設計部におけるスペクトル位相の計算手順を示す図である。

[図9]図9は、強度スペクトル設計部におけるスペクトル強度の計算手順を示す図である。

[図10]図10は、ターゲット生成部におけるターゲットスペクトログラムの生成手順の一例を示す図である。

[図11]図11は、強度スペクトルを算出する手順の一例を示す図である。

[図12]図12は、（a）、（b）ターゲットスペクトログラムの作成過程を示す図である。

[図13]図13は、対応する各ターゲットスペクトログラムに対して評価値が所定の条件を満足した各スペクトログラムに含まれる2つのドメインの中心波長と、ドメイン間の中心波長間隔とを示すグラフである。

[図14]図14は、（a）ターゲットスペクトログラムの2つのドメインの中心波長の組み合わせが（800nm，800nm）であるときのスペクトル波形を示すグラフ、及び（b）（a）のスペクトル波形をフーリエ変換して得られた出力光の時間強度波形を示すグラフである。

[図15]図15は、（a）ターゲットスペクトログラムの2つのドメインの中心波長の組み合わせが（802nm，798nm）であるときのスペクトル波形を示すグラフ、及び（b）（a）のスペクトル波形をフーリエ変換して得られた出力光の時間強度波形を示すグラフである。

[図16]図16は、（a）第2実施例にて用いられたターゲットスペクトログラムを示す図、及び（b）（a）のターゲットスペクトログラムに基づいて

算出されたスペクトログラムである。

[図17]図17は、(a)第2実施例にて用いられたターゲットスペクトログラムを示す図、及び(b)(a)のターゲットスペクトログラムに基づいて算出されたスペクトログラムである。

[図18]図18は、(a)図16(b)のスペクトログラムから算出されたスペクトル波形を示すグラフ、及び(b)(a)のスペクトル波形をフーリエ変換して得られた出力光の時間強度波形を示すグラフである。

[図19]図19は、(a)図17(b)のスペクトログラムから算出されたスペクトル波形を示すグラフ、及び(b)(a)のスペクトル波形をフーリエ変換して得られた出力光の時間強度波形を示すグラフである。

発明を実施するための形態

[0016] 以下、添付図面を参照しながら、データ作成装置、光制御装置、データ作成方法、及びデータ作成プログラムの実施の形態を詳細に説明する。なお、図面の説明において同一の要素には同一の符号を付し、重複する説明を省略する。

[0017] 図1は、一実施形態に係る光制御装置1Aの構成を概略的に示す図である。図2は、光制御装置1Aが備える光学系10の構成を示す図である。本実施形態の光制御装置1Aは、入力光Laから、該入力光Laとは異なる任意の時間強度波形を有する出力光Ldを生成する。図1に示されるように、光制御装置1Aは、光源2、光学系10、及び変調パターン算出装置(データ作成装置)20を備える。

[0018] 光源2は、光学系10に入力される入力光Laを出力する。光源2は例えば固体レーザ光源等のレーザ光源であり、入力光Laは例えばコヒーレントなパルス光である。光学系10は、SLM14を有しており、変調パターン算出装置20からの制御信号SCをSLM14に受ける。光学系10は、光源2からの入力光Laを、任意の時間強度波形を有する出力光Ldに変換する。変調パターンは、SLM14を制御するためのデータであり、複素振幅分布の強度あるいは位相分布の強度をファイルに出力されたデータである。

変調パターンは、例えば、計算機合成ホログラム（Computer-Generated Hologram：CGH）である。

[0019] 図2に示されるように、光学系10は、回折格子12、レンズ13、SLM14、レンズ15、及び回折格子16を有する。回折格子12は本実施形態における分光素子であり、光源2と光学的に結合されている。SLM14はレンズ13を介して回折格子12と光学的に結合されている。回折格子12は、入力光Laを波長成分毎に分光する。なお、分光素子として、回折格子12に代えてプリズム等の他の光学部品を用いてもよい。入力光Laは、回折格子12に対して斜めに入射し、複数の波長成分に分光される。この複数の波長成分を含む光Lbは、レンズ13によって各波長成分毎に集光され、SLM14の変調面に結像される。レンズ13は、光透過部材からなる凸レンズであってもよく、凹状の光反射面を有する凹面鏡であってもよい。

[0020] SLM14は、入力光Laとは異なる任意の時間強度波形を有する出力光Ldを生成するために、光Lbの位相変調と強度変調とを同時に行う。また、SLM14は、位相変調のみ、または強度変調のみを行ってもよい。SLM14は、例えば位相変調型である。一実施例では、SLM14はLCOS（Liquid crystal on silicon）型である。

[0021] 図3は、SLM14の変調面17を示す図である。図3に示されるように、変調面17には、複数の変調領域17aが或る方向Aに沿って並んでおり、各変調領域17aは方向Aと交差する方向Bに延びている。方向Aは、回折格子12による分光方向である。この変調面17はフーリエ変換面として働き、複数の変調領域17aのそれぞれには、分光後の対応する各波長成分が入射する。SLM14は、各変調領域17aにおいて、入射した各波長成分の位相及び強度を他の波長成分から独立して変調する。なお、本実施形態のSLM14は位相変調型であるため、強度変調は、変調面17に呈示される位相パターン（位相画像）によって実現される。

[0022] SLM14によって変調された変調光Lcの各波長成分は、レンズ15によって回折格子16上の一点に集められる。このときのレンズ15は、変調

光 L_c を集光する集光光学系として機能する。レンズ15は、光透過部材からなる凸レンズであってもよく、凹状の光反射面を有する凹面鏡であってもよい。また、回折格子16は合波光学系として機能し、変調後の各波長成分を合波する。すなわち、これらのレンズ15及び回折格子16により、変調光 L_c の複数の波長成分は互いに集光・合波されて出力光 L_d となる。

[0023] レンズ15よりも前の領域（スペクトル領域）と、回折格子16よりも後の領域（時間領域）とは、互いにフーリエ変換の関係にあり、スペクトル領域における位相変調は、時間領域における時間強度波形に影響する。従って、出力光 L_d は、SLM14の変調パターンに応じた、入力光 L_a とは異なる所望の時間強度波形を有することとなる。

[0024] ここで、図4（a）は、一例として、単パルス状の入力光 L_a のスペクトル波形（スペクトル位相 G_{11} 及びスペクトル強度 G_{12} ）を示し、図4（b）は、該入力光 L_a の時間強度波形を示す。また、図5（a）は、一例として、SLM14において矩形波状の位相スペクトル変調を与えたときの出力光 L_d のスペクトル波形（スペクトル位相 G_{21} 及びスペクトル強度 G_{22} ）を示し、図5（b）は、該出力光 L_d の時間強度波形を示す。図4（a）及び図5（a）において、横軸は波長（nm）を示し、左の縦軸は強度スペクトルの強度値（任意単位）を示し、右の縦軸は位相スペクトルの位相値（rad）を示す。また、図4（b）及び図5（b）において、横軸は時間（フェムト秒）を表し、縦軸は光強度（任意単位）を表す。

[0025] この例では、矩形波状の位相スペクトル波形を出力光 L_d に与えることにより、入力光 L_a のシングルパルスが、出力光 L_d として高次光を伴うダブルパルスに変換されている。なお、図5に示されるスペクトル及び波形は一つの例であって、様々な位相スペクトル及び強度スペクトルの組み合わせにより、出力光 L_d の時間強度波形を様々な形状に整形することができる。

[0026] 再び図1を参照する。変調パターン算出装置20は、例えば、パーソナルコンピュータ；スマートフォン、タブレット端末などのスマートデバイス；あるいはクラウドサーバなどのプロセッサを有するコンピュータである。変

調パターン算出装置 20 は、S L M 1 4 と電氣的に接続されており、出力光 L d の時間強度波形を所望の波形に近づけるための位相変調パターンを算出し、該位相変調パターンを含む制御信号 S C を S L M 1 4 に提供する。

[0027] 本実施形態の変調パターン算出装置 20 は、所望の波形を得る為の位相スペクトルを出力光 L d に与える位相変調用の位相パターンと、所望の波形を得る為の強度スペクトルを出力光 L d に与える強度変調用の位相パターンとを含む位相パターンを S L M 1 4 に呈示させる。そのために、変調パターン算出装置 20 は、任意波形入力部 21 と、位相スペクトル設計部 22 と、強度スペクトル設計部 23 と、変調パターン生成部（データ生成部）24 とを有する。すなわち、変調パターン算出装置 20 に設けられたコンピュータのプロセッサは、任意波形入力部 21 の機能と、位相スペクトル設計部 22 の機能と、強度スペクトル設計部 23 の機能と、変調パターン生成部 24 の機能とを実現する。それぞれの機能は、同じプロセッサにより実現されてもよいし、異なるプロセッサにより実現されてもよい。

[0028] コンピュータのプロセッサは、変調パターン算出プログラム（データ作成プログラム）によって、上記の各機能を実現することができる。故に、変調パターン算出プログラムは、コンピュータのプロセッサを、変調パターン算出装置 20 における任意波形入力部 21、位相スペクトル設計部 22、強度スペクトル設計部 23、及び変調パターン生成部 24 として動作させる。

[0029] 変調パターン算出プログラムは、コンピュータの内部または外部の記憶装置（記憶媒体）に記憶される。記憶装置は、非一時的記録媒体であってもよい。記録媒体としては、フレキシブルディスク、C D、D V D 等の記録媒体、R O M 等の記録媒体、半導体メモリ、クラウドサーバ等が例示される。

[0030] 任意波形入力部 21 は、操作者からの所望の時間強度波形の入力を受け付ける。操作者は、所望の時間強度波形に関する情報（例えばパルス幅など）を任意波形入力部 21 に入力する。所望の時間強度波形に関する情報は、位相スペクトル設計部 22 及び強度スペクトル設計部 23 に与えられる。位相スペクトル設計部 22 は、その時間強度波形に基づいて、対応する出力光 L

dの位相スペクトルを算出する。強度スペクトル設計部23は、その時間強度波形に基づいて、対応する出力光Ldの強度スペクトルを算出する。

[0031] 変調パターン生成部24は、位相スペクトル設計部22において求められた位相スペクトルと、強度スペクトル設計部23において求められた強度スペクトルとを出力光Ldに与えるための位相変調パターン（例えば、計算機合成ホログラム）を算出する。そして、算出された位相変調パターンを含む制御信号SCが、SLM14に提供され、SLM14は、制御信号SCに基づいて制御される。

[0032] 図6は、位相スペクトル設計部22及び強度スペクトル設計部23の内部構成を示すブロック図である。図6に示されるように、位相スペクトル設計部22及び強度スペクトル設計部23は、フーリエ変換部25、関数置換部26、波形関数修正部27、逆フーリエ変換部28、及びターゲット生成部29を有する。ターゲット生成部29は、フーリエ変換部29a及びスペクトログラム修正部29bを含む。これらの各構成要素の機能については、後に詳述する。

[0033] ここで、所望の時間強度波形は時間領域の関数として表され、位相スペクトルは周波数領域の関数として表される。従って、所望の時間強度波形に対応する位相スペクトルは、例えば、所望の時間強度波形に基づく反復フーリエ変換によって得られる。図7は、反復フーリエ変換法による位相スペクトルの計算手順を示す図である。

[0034] まず、周波数 ω の関数である初期の強度スペクトル関数 $A_0(\omega)$ 及び位相スペクトル関数 $\Psi_0(\omega)$ を用意する（図中の処理番号（1））。一例では、これらの強度スペクトル関数 $A_0(\omega)$ 及び位相スペクトル関数 $\Psi_0(\omega)$ はそれぞれ入力光Laのスペクトル強度及びスペクトル位相を表す。次に、強度スペクトル関数 $A_0(\omega)$ 及び位相スペクトル関数 $\Psi_n(\omega)$ を含む周波数領域の波形関数（a）を用意する（図中の処理番号（2））。

[数1]

$$\sqrt{A_0(\omega)} \exp\{i\Psi_n(\omega)\} \quad \dots (a)$$

添え字 n は、第 n 回目のフーリエ変換処理後を表す。最初（第 1 回目）のフーリエ変換処理の前においては、位相スペクトル関数 $\Psi_n(\omega)$ として上述した初期の位相スペクトル関数 $\Psi_0(\omega)$ が用いられる。 i は虚数である。

[0035] 続いて、上記関数（a）に対して周波数領域から時間領域へのフーリエ変換を行う（図中の矢印 A 1）。これにより、時間強度波形関数 $b_n(t)$ 及び時間位相波形関数 $\Theta_n(t)$ を含む周波数領域の波形関数（b）が得られる（図中の処理番号（3））。

[数2]

$$\sqrt{b_n(t)} \exp\{i\Theta_n(t)\} \quad \dots (b)$$

[0036] 続いて、上記関数（b）に含まれる時間強度波形関数 $b_n(t)$ を、所望の波形に基づく時間強度波形関数 $Target_0(t)$ に置き換える（図中の処理番号（4）、（5））。

[数3]

$$b_n(t) := Target_0(t) \quad \dots (c)$$

[数4]

$$\sqrt{Target_0(t)} \exp\{i\Theta_n(t)\} \quad \dots (d)$$

[0037] 続いて、上記関数（d）に対して時間領域から周波数領域への逆フーリエ変換を行う（図中の矢印 A 2）。これにより、強度スペクトル関数 $B_n(\omega)$ 及び位相スペクトル関数 $\Psi_n(\omega)$ を含む周波数領域の波形関数（e）が得られる（図中の処理番号（6））。

[数5]

$$\sqrt{B_n(\omega)} \exp\{i\Psi_n(\omega)\} \quad \dots (e)$$

[0038] 続いて、上記関数（e）に含まれる強度スペクトル関数 $B_n(\omega)$ を拘束するため、初期の強度スペクトル関数 $A_0(\omega)$ に置き換える（図中の処理番号（7））。

[数6]

$$B_n(\omega) := A_0(\omega) \quad \dots \quad (f)$$

[0039] 以降、上記の処理（１）～（７）を複数回繰り返し行うことにより、波形関数中の位相スペクトル関数 $\Psi_n(\omega)$ が表す位相スペクトル形状を、所望の時間強度波形に対応する位相スペクトル形状に近づけることができる。最終的に得られる位相スペクトル関数 $\Psi_{IFTA}(\omega)$ が、所望の時間強度波形を得るための変調パターンの基になる。

[0040] しかしながら、上述したような反復フーリエ法では、時間強度波形を制御することはできるが、時間強度波形を構成する周波数成分（帯域波長）を制御することはできないという問題がある。例えば出力光 L_d が複数の光パルスを含む場合、光パルス毎に波長を異ならせることができれば、レーザ加工装置、超高速撮像カメラ、テラヘルツ波発生装置など様々な装置への応用が可能となる。

[0041] そこで、本実施形態の変調パターン算出装置２０は、以下に説明する算出方法を用いて、変調パターンの基になる位相スペクトル関数及び強度スペクトル関数を算出する。図８は、位相スペクトル設計部２２における位相スペクトル関数の計算手順を示す図である。

[0042] まず、周波数 ω の関数である初期の強度スペクトル関数 $A_0(\omega)$ 及び位相スペクトル関数 $\Phi_0(\omega)$ を用意する（図中の処理番号（１））。一例では、これらの強度スペクトル関数 $A_0(\omega)$ 及び位相スペクトル関数 $\Phi_0(\omega)$ はそれぞれ入力光 L_a のスペクトル強度及びスペクトル位相を表す。次に、強度スペクトル関数 $A_0(\omega)$ 及び位相スペクトル関数 $\Phi_0(\omega)$ を含む周波数領域の第１波形関数（ g ）を用意する（処理番号（２－ a ））。但し、 i は虚数である。

[数7]

$$\sqrt{A_0(\omega)} \exp\{i\Phi_0(\omega)\} \quad \dots \quad (g)$$

[0043] 続いて、位相スペクトル設計部２２のフーリエ変換部２５は、上記関数（

g) に対して周波数領域から時間領域へのフーリエ変換を行う（図中の矢印 A 3）。これにより、時間強度波形関数 $a_0(t)$ 及び時間位相波形関数 $\phi_0(t)$ を含む時間領域の第 2 波形関数 (h) が得られる（フーリエ変換ステップ、処理番号 (3)）。

[数8]

$$\sqrt{a_0(t)} \exp\{i\phi_0(t)\} \quad \dots (h)$$

[0044] 続いて、位相スペクトル設計部 22 の関数置換部 26 は、次の数式 (i) に示されるように、時間強度波形関数 $b_0(t)$ に、任意波形入力部 21 において入力された所望の波形に基づく時間強度波形関数 $Target_0(t)$ を代入する（処理番号 (4-a)）。

[数9]

$$b_0(t) = Target_0(t) \quad \dots (i)$$

[0045] 続いて、位相スペクトル設計部 22 の関数置換部 26 は、次の数式 (j) に示されるように、時間強度波形関数 $a_0(t)$ を時間強度波形関数 $b_0(t)$ で置き換える。すなわち、上記関数 (h) に含まれる時間強度波形関数 $a_0(t)$ を、所望の波形に基づく時間強度波形関数 $Target_0(t)$ に置き換える（関数置換ステップ、処理番号 (5)）。

[数10]

$$\sqrt{b_0(t)} \exp\{i\phi_0(t)\} \quad \dots (j)$$

[0046] 続いて、位相スペクトル設計部 22 の波形関数修正部 27 は、置き換え後の第 2 波形関数 (j) のスペクトログラムが、所望の波長帯域に従って予め生成されたターゲットスペクトログラムに近づくように第 2 波形関数を修正する。まず、置き換え後の第 2 波形関数 (j) に対して時間一周波数変換を施すことにより、第 2 波形関数 (j) をスペクトログラム $SG_{0,k}(\omega, t)$ に変換する（図中の処理番号 (5-a)）。添え字 k は、第 k 回目の変換処理を表す。

[0047] ここで、時間一周波数変換とは、時間波形のような複合信号に対して、周波数フィルタ処理または数値演算処理（窓関数をずらしながら乗算して、各々の時間に対してスペクトルを導出する処理）を施し、時間、周波数、信号成分の強さ（スペクトル強度）からなる3次元情報に変換することをいう。また、本実施形態では、その変換結果（時間、周波数、スペクトル強度）を「スペクトログラム」と定義する。

[0048] 時間一周波数変換としては、例えば、短時間フーリエ変換（Short-Time Fourier Transform: STFT）やウェーブレット変換（ハールウェーブレット変換、ガボールウェーブレット変換、メキシカンハットウェーブレット変換、モルレーウェーブレット変換）などがある。

[0049] また、所望の波長帯域に従って予め生成されたターゲットスペクトログラム $Target\ SG_0(\omega, t)$ をターゲット生成部29から読み出す。このターゲットスペクトログラム $Target\ SG_0(\omega, t)$ は、目標とする時間波形（時間強度波形とそれを構成する周波数成分）と概ね同値であり、処理番号（5-b）のターゲットスペクトログラム関数において生成される。

[0050] 次に、位相スペクトル設計部22の波形関数修正部27は、スペクトログラム $SG_{0,k}(\omega, t)$ とターゲットスペクトログラム $Target\ SG_0(\omega, t)$ とのパターンマッチングを行い、類似度（どの程度一致しているか）を調べる。本実施形態では、類似度を表す指標として、評価値を算出する。そして、続く処理番号（5-c）では、得られた評価値が、所定の終了条件を満たすか否かの判定を行う。条件を満たせば処理番号（6）へ進み、満たさなければ処理番号（5-d）へ進む。処理番号（5-d）では、第2波形関数に含まれる時間位相波形関数 $\phi_0(t)$ を任意の時間位相波形関数 $\phi_{0,k}(t)$ に変更する。時間位相波形関数を変更した後の第2波形関数は、STFTなどの時間一周波数変換により再びスペクトログラムに変換される。

[0051] 以降、上述した処理番号（5-a）～（5-c）が繰り返し行われる。こうして、スペクトログラム $SG_{0,k}(\omega, t)$ がターゲットスペクトログラム $Target\ SG_0(\omega, t)$ に次第に近づくように、第2波形関数が修正され

る（波形関数修正ステップ）。

[0052] その後、位相スペクトル設計部 22 の逆フーリエ変換部 28 は、修正後の第 2 波形関数に対して逆フーリエ変換を行い（図中の矢印 A 4）、周波数領域の第 3 波形関数（ k ）を生成する（逆フーリエ変換ステップ、処理番号（6））。

[数11]

$$\sqrt{B_{0,k}(\omega)} \exp\{i\Phi_{0,k}(\omega)\} \quad \dots (k)$$

この第 3 波形関数（ k ）に含まれる位相スペクトル関数 $\Phi_{0,k}(\omega)$ が、最終的に得られる所望の位相スペクトル関数 $\Phi_{TWC-TFD}(\omega)$ となる。この位相スペクトル関数 $\Phi_{TWC-TFD}(\omega)$ が、変調パターン生成部 24 に提供される。

[0053] 図 9 は、強度スペクトル設計部 23 におけるスペクトル強度の計算手順を示す図である。なお、処理番号（1）から処理番号（5-c）までは、上述した位相スペクトル設計部 22 におけるスペクトル位相の計算手順と同様なので説明を省略する。

[0054] 強度スペクトル設計部 23 の波形関数修正部 27 は、スペクトログラム $S_{0,k}(\omega, t)$ とターゲットスペクトログラム $Target\ S_{G_0}(\omega, t)$ との類似度を示す評価値が所定の終了条件を満たさない場合、第 2 波形関数に含まれる時間位相波形関数 $\phi_0(t)$ は初期値で拘束しつつ、時間強度波形関数 $b_0(t)$ を任意の時間強度波形関数 $b_{0,k}(t)$ に変更する（処理番号（5-e））。時間強度波形関数を変更した後の第 2 波形関数は、STFT などの時間一周波数変換により再びスペクトログラムに変換される。

[0055] 以降、処理番号（5-a）～（5-c）が繰り返し行われる。こうして、スペクトログラム $S_{0,k}(\omega, t)$ がターゲットスペクトログラム $Target\ S_{G_0}(\omega, t)$ に次第に近づくように、第 2 波形関数が修正される（波形関数修正ステップ）。

[0056] その後、強度スペクトル設計部 23 の逆フーリエ変換部 28 は、修正後の第 2 波形関数に対して逆フーリエ変換を行い（図中の矢印 A 4）、周波数領

域の第3波形関数 (m) を生成する (逆フーリエ変換ステップ、処理番号 (6)) 。

[数12]

$$\sqrt{B_{0,k}(\omega)} \exp\{i\Phi_{0,k}(\omega)\} \quad \dots (m)$$

[0057] 続いて、処理番号 (7-b) では、強度スペクトル設計部 23 のフィルタ処理部が、第3波形関数 (m) に含まれる強度スペクトル関数 $B_{0,k}(\omega)$ に対し、入力光 L a の強度スペクトルに基づくフィルタ処理を行う (フィルタ処理ステップ)。具体的には、強度スペクトル関数 $B_{0,k}(\omega)$ に係数 α を乗じた強度スペクトルのうち、入力光 L a の強度スペクトルに基づいて定められる各波長毎のカットオフ強度を超える部分をカットする。全ての波長域において、強度スペクトル関数 $\alpha B_{0,k}(\omega)$ が入力光 L a のスペクトル強度を超えないようにするためである。

[0058] 一例では、波長毎のカットオフ強度は、入力光 L a の強度スペクトル (本実施形態では初期の強度スペクトル関数 $A_0(\omega)$) と一致するように設定される。その場合、次の数式 (n) に示されるように、強度スペクトル関数 $\alpha B_{0,k}(\omega)$ が強度スペクトル関数 $A_0(\omega)$ よりも大きい周波数では、強度スペクトル関数 $A_{TWC-TFD}(\omega)$ の値として強度スペクトル関数 $A_0(\omega)$ の値が取り入れられる。また、強度スペクトル関数 $\alpha B_{0,k}(\omega)$ が強度スペクトル関数 $A_0(\omega)$ 以下である周波数では、強度スペクトル関数 $A_{TWC-TFD}(\omega)$ の値として強度スペクトル関数 $\alpha B_{0,k}(\omega)$ の値が取り入れられる (図中の処理番号 (7-b)) 。

[数13]

$$A_{TWC-TFD}(\omega) = \begin{cases} A_0(\omega) & A_0(\omega) < \alpha B_{0,k}(\omega) \\ \alpha B_{0,k}(\omega) & A_0(\omega) \geq \alpha B_{0,k}(\omega) \end{cases} \quad \dots (n)$$

この強度スペクトル関数 $A_{TWC-TFD}(\omega)$ が、最終的に得られる所望のスペクトル強度として変調パターン生成部 24 に提供される。

[0059] 変調パターン生成部 24 は、位相スペクトル設計部 22 において算出され

た位相スペクトル関数 $\Phi_{\text{TWC-TFD}}(\omega)$ により示されるスペクトル位相と、強度スペクトル設計部 23 において算出された強度スペクトル関数 $A_{\text{TWC-TFD}}(\omega)$ により示されるスペクトル強度とを出力光 L_d に与えるための位相変調パターン（例えば、計算機合成ホログラム）を算出する（データ生成ステップ）。

[0060] ここで、図 10 は、ターゲット生成部 29 におけるターゲットスペクトログラム $\text{Target SG}_0(\omega, t)$ の生成手順の一例を示す図である。ターゲットスペクトログラム $\text{Target SG}_0(\omega, t)$ は、目標とする時間波形（時間強度波形とそれを構成する周波数成分（波長帯域成分））を示すので、ターゲットスペクトログラムの作成は、周波数成分（波長帯域成分）を制御するために極めて重要な工程である。

[0061] 図 10 に示されるように、ターゲット生成部 29 は、まずスペクトル波形（初期の強度スペクトル関数 $A_0(\omega)$ 及び初期の位相スペクトル関数 $\Phi_0(\omega)$ ）、並びに所望の時間強度波形関数 $\text{Target}_0(t)$ を入力する。また、所望の周波数（波長）帯域情報を含む時間関数 $p_0(t)$ を入力する（処理番号（1））。

[0062] 次に、ターゲット生成部 29 は、例えば図 7 に示された反復フーリエ変換法、或いは非特許文献 1 または 2 に記載された方法を用いて、時間強度波形関数 $\text{Target}_0(t)$ を実現するための位相スペクトル関数 $\Phi_{\text{IFTA}}(\omega)$ を算出する（処理番号（2））。

[0063] 続いて、ターゲット生成部 29 は、先に得られた位相スペクトル関数 $\Phi_{\text{IFTA}}(\omega)$ を利用した反復フーリエ変換法により、時間強度波形関数 $\text{Target}_0(t)$ を実現するための強度スペクトル関数 $A_{\text{IFTA}}(\omega)$ を算出する（処理番号（3））。ここで、図 11 は、強度スペクトル関数 $A_{\text{IFTA}}(\omega)$ を算出する手順の一例を示す図である。

[0064] まず、初期の強度スペクトル関数 $A_{k=0}(\omega)$ 及び位相スペクトル関数 $\Psi_0(\omega)$ を用意する（図中の処理番号（1））。次に、強度スペクトル関数 $A_k(\omega)$ 及び位相スペクトル関数 $\Psi_0(\omega)$ を含む周波数領域の波形関数（ $\circ$ ）を

用意する（図中の処理番号（２））。

[数14]

$$\sqrt{A_k(\omega)} \exp\{i\Psi_0(\omega)\} \quad \dots \quad (o)$$

添え字 k は、第 k 回目のフーリエ変換処理後を表す。最初（第１回目）のフーリエ変換処理の前においては、強度スペクトル関数 $A_k(\omega)$ として上記の初期強度スペクトル関数 $A_{k=0}(\omega)$ が用いられる。 i は虚数である。

[0065] 続いて、上記関数（ o ）に対して周波数領域から時間領域へのフーリエ変換を行う（図中の矢印 A 5）。これにより、時間強度波形関数 $b_k(t)$ を含む周波数領域の波形関数（ p ）が得られる（図中の処理番号（３））。

[数15]

$$\sqrt{b_k(t)} \exp\{i\Theta_k(t)\} \quad \dots \quad (p)$$

[0066] 続いて、上記関数（ p ）に含まれる時間強度波形関数 $b_k(t)$ を、所望の波形に基づく時間強度波形関数 $Target_0(t)$ に置き換える（図中の処理番号（４）、（５））。

[数16]

$$b_k(t) := Target_0(t) \quad \dots \quad (q)$$

[数17]

$$\sqrt{Target_0(t)} \exp\{i\Theta_k(t)\} \quad \dots \quad (r)$$

[0067] 続いて、上記関数（ r ）に対して時間領域から周波数領域への逆フーリエ変換を行う（図中の矢印 A 6）。これにより、強度スペクトル関数 $C_k(\omega)$ 及び位相スペクトル関数 $\Psi_k(\omega)$ を含む周波数領域の波形関数（ s ）が得られる（図中の処理番号（６））。

[数18]

$$\sqrt{C_k(\omega)} \exp\{i\Psi_k(\omega)\} \quad \dots \quad (s)$$

[0068] 続いて、上記関数（ s ）に含まれる位相スペクトル関数 $\Psi_k(\omega)$ を拘束す

るため、初期の位相スペクトル関数 $\Psi_0(\omega)$ に置き換える（図中の処理番号（7-a））。

[数19]

$$\Psi_k(\omega) := \Psi_0(\omega) \quad \dots (t)$$

[0069] また、逆フーリエ変換後の周波数領域における強度スペクトル関数 $C_k(\omega)$ に対し、入力光 L_a の強度スペクトルに基づくフィルタ処理を行う。具体的には、強度スペクトル関数 $C_k(\omega)$ により表される強度スペクトルのうち、入力光 L_a の強度スペクトルに基づいて定められる各波長毎のカットオフ強度を超える部分をカットする。

[0070] 一例では、波長毎のカットオフ強度は、入力光 L_a の強度スペクトル（例えば初期の強度スペクトル関数 $A_{k=0}(\omega)$ ）と一致するように設定される。その場合、次の数式（u）に示されるように、強度スペクトル関数 $C_k(\omega)$ が強度スペクトル関数 $A_{k=0}(\omega)$ よりも大きい周波数では、強度スペクトル関数 $A_k(\omega)$ の値として強度スペクトル関数 $A_{k=0}(\omega)$ の値が取り入れられる。また、強度スペクトル関数 $C_k(\omega)$ が強度スペクトル関数 $A_{k=0}(\omega)$ 以下である周波数では、強度スペクトル関数 $A_k(\omega)$ の値として強度スペクトル関数 $C_k(\omega)$ の値が取り入れられる（図中の処理番号（7-b））。

[数20]

$$A_k(\omega) = \begin{cases} A_{k=0}(\omega), & A_{k=0}(\omega) < C_k(\omega) \\ C_k(\omega), & A_{k=0}(\omega) \geq C_k(\omega) \end{cases} \quad \dots (u)$$

上記関数（s）に含まれる強度スペクトル関数 $C_k(\omega)$ を、上記数式（u）によるフィルタ処理後の強度スペクトル関数 $A_k(\omega)$ に置き換える。

[0071] 以降、上記の処理（1）～（7-b）を繰り返し行うことにより、波形関数中の強度スペクトル関数 $A_k(\omega)$ が表す強度スペクトル形状を、所望の時間強度波形に対応する強度スペクトル形状に近づけることができる。最終的に、強度スペクトル関数 $A_{IFTA}(\omega)$ が得られる。

[0072] 再び図10を参照する。以上に説明した処理番号（2）、（3）における位相スペクトル関数 $\Phi_{IFTA}(\omega)$ 及び強度スペクトル関数 $A_{IFTA}(\omega)$ の算出に

よって、これらの関数を含む周波数領域の第3波形関数（ v ）が得られる（処理番号（4））。

[数21]

$$\sqrt{A_{IFTA}(\omega)} \exp\{i\Phi_{IFTA}(\omega)\} \quad \dots (v)$$

[0073] ターゲット生成部29のフーリエ変換部29aは、上の波形関数（ v ）をフーリエ変換する。これにより、時間領域の第4波形関数（ w ）が得られる（処理番号（5））。

[数22]

$$\sqrt{a_{IFTA}(t)} \exp\{i\varphi_{IFTA}(t)\} \quad \dots (w)$$

[0074] ターゲット生成部29のスペクトログラム修正部29bは、時間一周波数変換により第4波形関数（ w ）をスペクトログラム $SG_{IFTA}(\omega, t)$ に変換する（処理番号（6））。そして、処理番号（7）では、所望の周波数（波長）帯域情報を含む時間関数 $p_0(t)$ を基にスペクトログラム $SG_{IFTA}(\omega, t)$ を修正することにより、ターゲットスペクトログラム $Target SG_0(\omega, t)$ を生成する。例えば、2次元データにより構成されるスペクトログラム $SG_{IFTA}(\omega, t)$ に現れる特徴的パターンを部分的に切り出し、時間関数 $p_0(t)$ を基に当該部分の周波数成分の操作を行う。以下、その具体例について詳細に説明する。

[0075] 例えば、所望の時間強度波形関数 $Target_0(t)$ として時間間隔が2ピコ秒であるトリプルパルスを設定した場合について考える。このとき、スペクトログラム $SG_{IFTA}(\omega, t)$ は、図12（a）に示されるような結果となる。なお、図12（a）において横軸は時間（単位：フェムト秒）を示し、縦軸は波長（単位：nm）を示す。また、スペクトログラムの値は、図の明暗によって示されており、明るいほどスペクトログラムの値が大きい。このスペクトログラム $SG_{IFTA}(\omega, t)$ において、トリプルパルスは2ピコ秒間隔で時間軸上に分かれたドメイン D_1 、 D_2 、及び D_3 として現れる。ドメイン D_1 、 D_2 、及び D_3 の中心（ピーク）波長は800nmである。

- [0076] 仮に出力光 L_d の時間強度波形のみを制御したい（単にトリプルパルスを得たい）場合には、これらのドメイン D_1 、 D_2 、及び D_3 を操作する必要はない。しかし、各パルスの周波数（波長）帯域を制御したい場合には、これらのドメイン D_1 、 D_2 、及び D_3 の操作が必要となる。すなわち、図 12（b）に示されるように、波長軸（縦軸）に沿った方向に各ドメイン D_1 、 D_2 、及び D_3 を互いに独立して移動させることは、それぞれのパルスの構成周波数（波長帯域）を変更することを意味する。このような各パルスの構成周波数（波長帯域）の変更は、時間関数 $p_0(t)$ を基に行われる。
- [0077] 例えば、ドメイン D_2 のピーク波長を 800 nm で据え置き、ドメイン D_1 及び D_3 のピーク波長がそれぞれ -2 nm 、 $+2\text{ nm}$ だけ平行移動するように時間関数 $p_0(t)$ を記述するとき、スペクトログラム $SG_{IFTA}(\omega, t)$ は、図 12（b）に示されるターゲットスペクトログラム $Target\ SG_0(\omega, t)$ に変化する。例えばスペクトログラムにこのような処理を施すことによって、時間強度波形の形状を変えずに、各パルスの構成周波数（波長帯域）が任意に制御されたターゲットスペクトログラムを作成することができる。
- [0078] 以上に説明した、本実施形態による変調パターン算出装置（データ作成装置）20、光制御装置 1A、変調パターン算出方法（データ作成方法）、計算機合成ホログラム、及び変調パターン算出プログラム（データ作成プログラム）によって得られる効果について説明する。
- [0079] 前述したとおり、本実施形態では、周波数領域の第 1 波形関数（ g ）に対してフーリエ変換を行うことにより時間領域の第 2 波形関数（ h ）を生成したのち、第 2 波形関数（ h ）に対し、所望の波形に基づく時間強度波形関数 $Target_0(t)$ の置き換えを行う。その後、第 2 波形関数に対して逆フーリエ変換を行い、周波数領域の第 3 波形関数（ k ）及び（ m ）を生成する。そして、第 3 波形関数（ k ）の位相スペクトル関数 $\Phi_{0,k}(\omega)$ 、及び第 3 波形関数（ m ）の強度スペクトル関数 $B_{0,k}(\omega)$ に基づいて変調パターンを生成する。これにより、所望の波形を実現するための変調パターンを好適に生成することができる。

- [0080] 加えて、本実施形態では、時間強度波形関数 $T a r g e t_0(t)$ の置き換えののち、逆フーリエ変換の前に、ターゲットスペクトログラム $T a r g e t S G_0(\omega, t)$ に第2波形関数のスペクトログラム $S G_{0,k}(\omega, t)$ が近づくように第2波形関数を修正する。
- [0081] このターゲットスペクトログラム $T a r g e t S G_0(\omega, t)$ は所望の波長帯域に従って予め生成されたものであり、この処理によって、第2波形関数の波長帯域は、所望の波長帯域に修正される。従って、第2波形関数を逆フーリエ変換して得られる第3波形関数 (k) 及び (m) もまた、所望の波長帯域内の関数となる。そして、上述したように変調パターンは、第3波形関数 (k) の位相スペクトル関数 $\phi_{0,k}(\omega)$ 、及び第3波形関数 (m) の強度スペクトル関数 $B_{0,k}(\omega)$ に基づいて生成される。以上より、本実施形態によれば、任意の時間強度波形を構成する光の波長成分（周波数成分）を制御することが可能となる。
- [0082] また、本実施形態のように、波形関数修正部 27 は、第2波形関数のスペクトログラム $S G_{IFTA}(\omega, t)$ とターゲットスペクトログラム $T a r g e t S G_0(\omega, t)$ との類似度を表す評価値を算出し、評価値が所定の条件を満たすように第2波形関数を修正してもよい。例えばこのような方式によって、第2波形関数のスペクトログラム $S G_{IFTA}(\omega, t)$ がターゲットスペクトログラム $T a r g e t S G_0(\omega, t)$ に近づくように第2波形関数を精度良く修正することができる。
- [0083] また、本実施形態のように、波形関数修正部 27 は、第2波形関数を修正するために、時間強度波形関数 $b_{0,k}(t)$ 又は時間位相波形関数 $\phi_{0,k}(t)$ を変更してもよい。例えばこのような方式によって、第2波形関数のスペクトログラム $S G_{IFTA}(\omega, t)$ がターゲットスペクトログラム $T a r g e t S G_0(\omega, t)$ に近づくように第2波形関数を好適に修正することができる。
- [0084] なお、変調パターン算出装置、変調パターン算出方法、及び変調パターン算出プログラムは、本実施形態に限られるものではなく、様々な変更が可能である。例えば、本実施形態では、位相スペクトル設計部 22 が位相スペク

トル関数 $\Phi_{\text{TWC-TFD}}(\omega)$ を算出し、強度スペクトル設計部 23 が強度スペクトル関数 $A_{\text{TWC-TFD}}(\omega)$ を算出し、変調パターン生成部 24 が、双方の関数に基づいて変調パターンを生成しているが、変調パターン生成部は、位相スペクトル関数 $\Phi_{\text{TWC-TFD}}(\omega)$ 及び強度スペクトル関数 $A_{\text{TWC-TFD}}(\omega)$ のうち一方に基づいて変調パターンを生成してもよい。

[0085] また、波形関数修正部 27 が第 2 波形関数をスペクトログラム $SG_{0,k}(\omega, t)$ に変換する際（図 8 及び図 9 の処理番号（5-a））の時間一周波数変換として、本実施形態では短時間フーリエ変換（STFT）及びウェーブレット変換を例示している。時間一周波数変換処理において重要なことは、時間波形を「時間一周波数情報」であるスペクトログラム $SG_{0,k}(\omega, t)$ へ変換することにある。本実施形態では、時間波形のうち時間強度波形のみを制御する手法（例えば非特許文献 1, 2）と異なり、その時間波形を構成する周波数成分（帯域成分）を制御することを主な目的としており、時間波形から時間強度情報と周波数（帯域）情報とを抽出することに意味があるからである。つまり、時間一周波数変換としては、STFT 及びウェーブレット変換に限らず、時間波形から周波数情報を抽出し得る様々な変換処理を適用することができる。

[0086] また、本実施形態では、波形関数修正部 27 が、第 2 波形関数のスペクトログラム $SG_{\text{IFTA}}(\omega, t)$ とターゲットスペクトログラム $\text{Target } SG_0(\omega, t)$ との類似度を示す評価値を用いて、これらが互いにどの程度近いかを判定している（図 8 及び図 9 の処理番号（5-c））。ターゲットスペクトログラム $\text{Target } SG_0(\omega, t)$ は、所望の時間波形が、どのような時間強度形状及び周波数（帯域）情報を含むかを表すものであり、いわば目標値（設計図）の役割を果たす。従って、本実施形態の評価値は、波形制御精度を示す指標の一つとなり得る。

[0087] 一方、スペクトログラム $SG_{\text{IFTA}}(\omega, t)$ は、周波数 ω 及び時間 t といった 2 つの変数を含むので、画像としても扱うことができる。従って、スペクトログラム $SG_{\text{IFTA}}(\omega, t)$ とターゲットスペクトログラム $\text{Target } SG_0$

(ω , t) とがどの程度一致しているかを調べることは、画像解析における各種のパターンマッチング手法を用いた差違抽出作業であると考えることができる。故に、類似度を示す評価値を利用する方法の他にも、例えば、画像の特徴量（周波数や時間軸方向に限定した輪郭・形状など）を抽出してパターンのマッチング度合いを評価する方法や、画像を複数の部分に分割して部分毎に評価する方法などを適用することもできる。

[0088] また、本実施形態では、波形関数修正部 27 が、評価値が所定の条件を満たさない（スペクトログラム $SG_{IFTA}(\omega, t)$ とターゲットスペクトログラム $TargetSG_0(\omega, t)$ とが乖離している）場合に、時間位相波形関数 $\phi_{0,k}(t)$ または時間強度波形関数 $b_{0,k}(t)$ を他の任意のものへ変更する（図 8 の処理番号（5-d）、図 9 の処理番号（5-e））。

[0089] これらの関数 $\phi_{0,k}(t)$ 、 $b_{0,k}(t)$ を変更する方法としては、様々な方法がある。最も簡易な方法としては、関数 $\phi_{0,k}(t)$ 、 $b_{0,k}(t)$ をランダムに変化させる方法がある。また、例えばシミュレーテッドアニーリング法などにより、一定のルールに従い（確率過程に伴い）関数 $\phi_{0,k}(t)$ 、 $b_{0,k}(t)$ の解を探索する方法も適用可能である。

[0090] 或いは、どのような関数 $\phi_{0,k}(t)$ 、 $b_{0,k}(t)$ を用いると評価値が良くなるかの指標が得られる場合には、その指標を活用してもよい。例えば、処理番号（5-a）にて算出される評価値の大きさや処理番号（5-c）における判定結果を、関数 $\phi_{0,k}(t)$ 、 $b_{0,k}(t)$ の変更の際にフィードバックしてもよい。具体的には、スペクトログラム $SG_{IFTA}(\omega, t)$ とターゲットスペクトログラム $TargetSG_0(\omega, t)$ との差分値を基に、新たなスペクトログラム $NewSG_0(\omega, t)$ を作成し、その $NewSG_0(\omega, t)$ を逆スペクトログラム変換することで、時間波形の形に変形する。このようなスペクトログラム上での演算を経て得られた $NewSG_0(\omega, t)$ を逆スペクトログラム変換することで得られる時間波形の時間位相や時間強度関数には、例えば、どのような関数 $\phi_{0,k}(t)$ 、 $b_{0,k}(t)$ を用いると評価値が良くなるかに関する（スペクトログラム上での演算に基づく）指標が含まれる。従って、適宜

この指標を時間位相波形関数 $\phi_{0,k}(t)$ または時間強度波形関数 $b_{0,k}(t)$ の修正にフィードバック利用する手法が考えられる。

[0091] また、ターゲット生成部29がターゲットスペクトログラム $Target\ SG_0(\omega, t)$ を生成する際、図10に示される処理番号(2)において、時間強度波形関数 $Target_0(t)$ を実現するための位相スペクトル関数 $\Phi_{IFTA}(\omega)$ を算出する。このとき、図7に示された反復フーリエ変換法、或いは非特許文献1または2に記載された方法を用い得ることを先に述べたが、位相スペクトル関数 $\Phi_{IFTA}(\omega)$ の算出方法はこれらに限られず、時間強度波形関数 $Target_0(t)$ の生成を実現し得るような、解析的若しくは近似的に求められる位相スペクトル関数 $\Phi_{IFTA}(\omega)$ を用いても良い。

[0092] また、ターゲット生成部29がターゲットスペクトログラム $Target\ SG_0(\omega, t)$ を生成する際、図10に示される処理番号(3)において、時間強度波形関数 $Target_0(t)$ を実現するための強度スペクトル関数 $A_{IFTA}(\omega)$ を算出する。このとき、図9に示された、改良された反復フーリエ変換法を用いて強度スペクトル関数 $A_{IFTA}(\omega)$ を算出する例を先に述べたが、強度スペクトル関数 $A_{IFTA}(\omega)$ の算出方法はこれに限られず、時間強度波形関数 $Target_0(t)$ の生成を実現し得るような、解析的若しくは近似的に求められる強度スペクトル関数 $A_{IFTA}(\omega)$ を用いても良い。

[0093] なお、クラウドサーバなどの遠隔地に存在するコンピュータを用いて、本実施形態の変調パターン算出方法(データ作成方法)に基づいて変調パターン(例えば、計算機合成ホログラム)を作成し、作成された変調パターンに関するデータをユーザーに送信してもよい。

[0094] (第1実施例)

[0095] 上記実施形態の変調パターン算出方法(データ作成方法)に基づく計算を行って、周波数(波長)帯域の制御を含めた時間波形の制御が可能であることを確かめた。この計算においては、波長帯域が半値全幅で5nmであるシングルパルスを入力光 L_a として設定し、2ピコ秒間隔のダブルパルスを出力光 L_d として設定した。この場合、ターゲットスペクトログラム $Target$

$e t S G(\omega, t)$ は、2つのドメインを含む。

[0096] 本実施例では、図12(b)に示された方法により、この2つのドメインを波長軸方向に平行移動した（すなわち各パルスを構成する周波数（波長）帯域を変更した）5つのターゲットスペクトログラム $T a r g e t S G(\omega, t)$ を用意した。具体的には、2つのドメインの中心波長（ピーク波長）の組み合わせがそれぞれ（800 nm, 800 nm）、（801 nm, 799 nm）、（802 nm, 798 nm）、（803 nm, 797 nm）、及び（804 nm, 796 nm）である5種類のターゲットスペクトログラム $T a r g e t S G_0(\omega, t)$ を用意した。そして、図8に示された方法を用いて位相スペクトル関数 $\phi_{TWC-TFD}(\omega)$ を、図9に示された方法を用いて強度スペクトル関数 $A_{TWC-TFD}(\omega)$ を、それぞれ算出した。

[0097] 図13は、対応する各ターゲットスペクトログラム $T a r g e t S G_0(\omega, t)$ に対して評価値が所定の条件を満足した各スペクトログラム $S G_{0,k}(\omega, t)$ に含まれる2つのドメインの中心波長と、ドメイン間の中心波長間隔とを示すグラフである。縦軸は各ドメインの中心波長を示し、横軸はドメイン間の中心波長間隔を示している。また、グラフG31及びG32は、ターゲットスペクトログラム $T a r g e t S G_0(\omega, t)$ に含まれる一方及び他方のドメインの中心波長をそれぞれ結ぶ直線であり、グラフG33及びG34は、スペクトログラム $S G_{0,k}(\omega, t)$ に含まれる一方及び他方のドメインの中心波長をそれぞれ結ぶ近似曲線である。

[0098] この結果から、隣接するパルスの波長帯域差が例えば4 nm以内であるときに、周波数（波長）帯域を含めた時間波形の制御が可能であることが示された。すなわち、入力光Laの波長帯域の半値全幅（5 nm）の範囲内において、任意の波長帯域への変更が概ね可能であることが示された。言い換えれば、ターゲットスペクトログラム $T a r g e t S G(\omega, t)$ のドメインを波長軸方向に移動する際、入力光Laの波長帯域内で移動することが望ましい。

[0099] 図14(a)は、ターゲットスペクトログラム $T a r g e t S G(\omega, t)$

）の２つのドメインの中心波長の組み合わせを（８００ nm， ８００ nm）と設定し、図 ８、図 ９に示された方法を用いて得られたスペクトル波形（スペクトル位相 G 4 1 及びスペクトル強度 G 4 2）を示すグラフである。図 14（b）は、図 14（a）のスペクトル波形をフーリエ変換して得られた出力光 L d の時間強度波形を示すグラフである。また、図 15（a）は、ターゲットスペクトログラム T a r g e t S G（ ω ， t）の２つのドメインの中心波長の組み合わせを（８０２ nm， ７９８ nm）と設定し、図 ８、図 ９に示された方法を用いて得られたスペクトル波形（スペクトル位相 G 5 1 及びスペクトル強度 G 5 2）を示すグラフである。図 15（b）は、図 15（a）のスペクトル波形をフーリエ変換して得られた出力光 L d の時間強度波形を示すグラフである。

[0100] 図 14（a）と図 15（a）とを比較すると、各ドメインの中心波長が ８００ nm， ８００ nm である場合（図 14（a））、位相スペクトル（G 4 1）はステップ状であり、且つ、強度スペクトル（G 4 2）の裾付近の波長において位相スペクトル（G 4 1）に折り返しが生じている。これに対し、各ドメインの中心波長が ８０２ nm， ７９８ nm である場合（図 15（a））、スペクトル強度（G 5 2）の裾付近の波長に近づくに従って位相スペクトル（G 5 1）のステップが滑らかになり、且つ、位相スペクトル（G 5 1）の折り返しが生じていない。このことから、出力光 L d の周波数（波長）帯域を制御するために、出力光 L d の位相スペクトルに明確な違いが生じることがわかる。

[0101] また、図 14（b）と図 15（b）とを比較すると、出力光 L d の周波数（波長）帯域の制御の違いにかかわらず、同様の時間強度波形が得られることがわかる。

[0102] （第 2 実施例）

[0103] 続いて、7 本のパルスを持する出力光 L d を生成し、各パルスの波長帯域を互いに異ならせる実施例について説明する。図 16（a）及び図 17（a）は、本実施例にて用いられたターゲットスペクトログラム T a r g e t S

$G(\omega, t)$ を示す。図16(a)は各パルスの波長帯域を制御しない（等しくする）場合を示し、図17(a)は各パルスの波長帯域を互いに異ならせた場合を示す。また、図16(b)及び図17(b)は、それぞれ図16(a)及び図17(a)のターゲットスペクトログラム $Target\ SG(\omega, t)$ に基づいて算出されたスペクトログラム $SG_{0,k}(\omega, t)$ である。

[0104] なお、これらの図において、横軸は時間（単位：フェムト秒）を示し、縦軸は波長（単位：nm）を示す。また、スペクトログラムの値は、図の明暗によって示されており、明るいほどスペクトログラムの値が大きい。本実施例では、ターゲットスペクトログラム $Target\ SG(\omega, t)$ 及びスペクトログラム $SG_{0,k}(\omega, t)$ が、パルスの本数と同じ数のドメイン $D_1 \sim D_7$ を含んでいる。

[0105] 図18(a)は、図16(b)のスペクトログラム $SG_{0,k}(\omega, t)$ に対応する時間波形（第2波形関数）から算出されたスペクトル波形（スペクトル位相G61及びスペクトル強度G62）を示すグラフである。図18(b)は、図18(a)のスペクトル波形をフーリエ変換して得られた出力光 L_d の時間強度波形を示すグラフである。また、図19(a)は、図17(b)のスペクトログラム $SG_{0,k}(\omega, t)$ に対応する時間波形（第2波形関数）から算出されたスペクトル波形（スペクトル位相G71及びスペクトル強度G72）を示すグラフである。図19(b)は、図19(a)のスペクトル波形をフーリエ変換して得られた出力光 L_d の時間強度波形を示すグラフである。

[0106] 図18(a)と図19(a)とを比較すると、各ドメインの中心波長が互いに等しい場合（図18(a)）と、各ドメインの中心波長が互いに異なる場合（図19(a)）とで、出力光 L_d の位相スペクトルに明確な違いが生じることがわかる。一方、図18(b)と図19(b)とを比較すると、出力光 L_d の周波数（波長）帯域の制御の違いにかかわらず、同様の時間強度波形が得られることがわかる。

[0107] データ作成装置、光制御装置、データ作成方法、及びデータ作成プログラ

ムは、上述した実施形態に限られるものではなく、他に様々な変形が可能である。例えば、上記実施形態では入力光をSLMへ導く光学系（回折格子12及びレンズ13）と、出力光を生成する光学系（レンズ15及び回折格子16）とを別個に設けているが、これらの光学系は共通であってもよい。その場合、SLMは反射型であることが好ましい。

[0108] 上記実施形態によるデータ作成装置では、空間光変調器を制御するデータを作成する装置であって、強度スペクトル関数及び位相スペクトル関数を含む周波数領域の第1波形関数に対してフーリエ変換を行い、時間強度波形関数及び時間位相波形関数を含む時間領域の第2波形関数を生成するフーリエ変換部と、第2波形関数に対し、所望の波形に基づく時間強度波形関数の置き換えを行う関数置換部と、所望の波形及び所望の波長帯域に従って予め生成されたターゲットスペクトログラムに第2波形関数のスペクトログラムが近づくように第2波形関数を修正する波形関数修正部と、修正後の第2波形関数に対して逆フーリエ変換を行い、周波数領域の第3波形関数を生成する逆フーリエ変換部と、第3波形関数の強度スペクトル関数又は位相スペクトル関数に基づいてデータを生成するデータ生成部と、を備える構成としている。

[0109] 上記実施形態によるデータ作成方法では、空間光変調器を制御するデータを作成する方法であって、強度スペクトル関数及び位相スペクトル関数を含む周波数領域の第1波形関数に対してフーリエ変換を行い、時間強度波形関数及び時間位相波形関数を含む時間領域の第2波形関数を生成するフーリエ変換ステップと、第2波形関数に対し、所望の波形に基づく時間強度波形関数の置き換えを行う関数置換ステップと、所望の波形及び所望の波長帯域に従って予め生成されたターゲットスペクトログラムに第2波形関数のスペクトログラムが近づくように第2波形関数を修正する波形関数修正ステップと、修正後の第2波形関数に対して逆フーリエ変換を行い、周波数領域の第3波形関数を生成する逆フーリエ変換ステップと、第3波形関数の強度スペクトル関数又は位相スペクトル関数に基づいてデータを生成するデータ生成ス

テップと、を含む構成としている。

[0110] 上記実施形態によるデータ作成プログラムでは、空間光変調器を制御するデータを作成するプログラムであって、強度スペクトル関数及び位相スペクトル関数を含む周波数領域の第1波形関数に対してフーリエ変換を行い、時間強度波形関数及び時間位相波形関数を含む時間領域の第2波形関数を生成するフーリエ変換ステップと、第2波形関数に対し、所望の波形に基づく時間強度波形関数の置き換えを行う関数置換ステップと、所望の波形及び所望の波長帯域に従って予め生成されたターゲットスペクトログラムに第2波形関数のスペクトログラムが近づくように第2波形関数を修正する波形関数修正ステップと、修正後の第2波形関数に対して逆フーリエ変換を行い、周波数領域の第3波形関数を生成する逆フーリエ変換ステップと、第3波形関数の強度スペクトル関数又は位相スペクトル関数に基づいてデータを生成するデータ生成ステップと、をコンピュータに実行させる構成としている。

[0111] 上記のデータ作成装置、データ作成方法、及びデータ作成プログラムにおいて、波形関数修正部（波形関数修正ステップ）は、第2波形関数のスペクトログラムとターゲットスペクトログラムとの類似度を表す評価値を算出し、評価値が所定の条件を満たすように第2波形関数を修正する構成としてもよい。例えばこのような方式によって、第2波形関数のスペクトログラムがターゲットスペクトログラムに近づくように第2波形関数を精度良く修正することができる。

[0112] 上記のデータ作成装置、データ作成方法、及びデータ作成プログラムにおいて、波形関数修正部（波形関数修正ステップ）は、第2波形関数を修正するために、時間強度波形関数又は時間位相波形関数を変更する構成としてもよい。例えばこのような方式によって、ターゲットスペクトログラムに第2波形関数のスペクトログラムが近づくように第2波形関数を好適に修正することができる。

[0113] 上記のデータ作成装置、データ作成方法、及びデータ作成プログラムは、ターゲットスペクトログラムを生成するターゲット生成部（ターゲット生成

ステップ)を更に備え、ターゲット生成部(ターゲット生成ステップ)は、所望の波形を実現するための強度スペクトル関数及び位相スペクトル関数を含む周波数領域の第3波形関数に対してフーリエ変換を行い、時間強度波形関数及び時間位相波形関数を含む時間領域の第4波形関数を生成するフーリエ変換部(フーリエ変換ステップ)と、第4波形関数のスペクトログラムの波長帯域を、所望の波長帯域に従って修正するスペクトログラム修正部(スペクトログラム修正ステップ)と、を有する構成としてもよい。

[0114] データ作成装置、データ作成方法、及びデータ作成プログラムがこのようなターゲット生成部(ターゲット生成ステップ)を備えることによって、予めターゲットスペクトログラムを好適に生成することができる。

[0115] また、上記実施形態による光制御装置では、入力光を出力する光源と、入力光を分光する分光素子と、分光後の入力光の強度スペクトルもしくは位相スペクトルの少なくともいずれか一方を変調し、変調光を出力する空間光変調器と、変調光を集光する光学系と、を備え、空間光変調器は、上記構成のデータ作成装置により算出されたデータに基づいて入力光の強度スペクトルもしくは位相スペクトルの少なくともいずれか一方を変調する構成としている。

[0116] また、上記実施形態による計算機合成ホログラムは、上記構成のデータ作成方法によって作成される。この計算機合成ホログラムによって空間光変調器を制御すれば、時間強度波形を構成する光の波長成分(周波数成分)を制御することが可能となる。

産業上の利用可能性

[0117] 実施形態は、時間強度波形を構成する光の波長成分(周波数成分)を制御することが可能なデータ作成装置、光制御装置、データ作成方法、及びデータ作成プログラムとして利用可能である。

符号の説明

[0118] 1A…光制御装置、2…光源、10…光学系、12, 16…回折格子、13, 15…レンズ、14…SLM、17…変調面、17a…変調領域、20

…変調パターン算出装置、21…任意波形入力部、22…位相スペクトル設計部、23…強度スペクトル設計部、24…変調パターン生成部、25…フーリエ変換部、26…関数置換部、27…波形関数修正部、28…逆フーリエ変換部、29…ターゲット生成部、29a…フーリエ変換部、29b…スペクトログラム修正部、 $D_1 \sim D_7$ …ドメイン、 L_a …入力光、 L_d …出力光、SC…制御信号。

請求の範囲

- [請求項1] 空間光変調器を制御するデータを作成する装置であって、
 強度スペクトル関数及び位相スペクトル関数を含む周波数領域の第1波形関数に対してフーリエ変換を行い、時間強度波形関数及び時間位相波形関数を含む時間領域の第2波形関数を生成するフーリエ変換部と、
 前記第2波形関数に対し、所望の波形に基づく前記時間強度波形関数の置き換えを行う関数置換部と、
 前記所望の波形及び所望の波長帯域に従って予め生成されたターゲットスペクトログラムに前記第2波形関数のスペクトログラムが近づくように前記第2波形関数を修正する波形関数修正部と、
 修正後の前記第2波形関数に対して逆フーリエ変換を行い、周波数領域の第3波形関数を生成する逆フーリエ変換部と、
 前記第3波形関数の強度スペクトル関数又は位相スペクトル関数に基づいて前記データを生成するデータ生成部と、
 を備える、データ作成装置。
- [請求項2] 前記波形関数修正部は、前記第2波形関数のスペクトログラムと前記ターゲットスペクトログラムとの類似度を表す評価値を算出し、前記評価値が所定の条件を満たすように前記第2波形関数を修正する、請求項1に記載のデータ作成装置。
- [請求項3] 前記波形関数修正部は、前記第2波形関数を修正するために、前記時間強度波形関数又は前記時間位相波形関数を変更する、請求項1または2に記載のデータ作成装置。
- [請求項4] 前記ターゲットスペクトログラムを生成するターゲット生成部を更に備え、
 前記ターゲット生成部は、
 前記所望の波形を実現するための強度スペクトル関数及び位相スペクトル関数を含む周波数領域の第3波形関数に対してフーリエ変換を

行い、時間強度波形関数及び時間位相波形関数を含む時間領域の第4波形関数を生成するフーリエ変換部と、

前記第4波形関数のスペクトログラムの波長帯域を、前記所望の波長帯域に従って修正するスペクトログラム修正部と、

を有する、請求項1～3のいずれか一項に記載のデータ作成装置。

[請求項5]

入力光を出力する光源と、

前記入力光を分光する分光素子と、

分光後の前記入力光の強度スペクトルもしくは位相スペクトルの少なくともいずれか一方を変調し、変調光を出力する空間光変調器と、

前記変調光を集光する光学系と、

を備え、

前記空間光変調器は、請求項1～4のいずれか一項に記載のデータ作成装置により作成された前記データに基づいて前記入力光の強度スペクトルもしくは位相スペクトルの少なくともいずれか一方を変調する、光制御装置。

[請求項6]

空間光変調器を制御するデータを作成する方法であって、

強度スペクトル関数及び位相スペクトル関数を含む周波数領域の第1波形関数に対してフーリエ変換を行い、時間強度波形関数及び時間位相波形関数を含む時間領域の第2波形関数を生成するフーリエ変換ステップと、

前記第2波形関数に対し、所望の波形に基づく前記時間強度波形関数の置き換えを行う関数置換ステップと、

前記所望の波形及び所望の波長帯域に従って予め生成されたターゲットスペクトログラムに前記第2波形関数のスペクトログラムが近づくように前記第2波形関数を修正する波形関数修正ステップと、

修正後の前記第2波形関数に対して逆フーリエ変換を行い、周波数領域の第3波形関数を生成する逆フーリエ変換ステップと、

前記第3波形関数の強度スペクトル関数又は位相スペクトル関数に

基づいて前記データを生成するデータ生成ステップと、
を含む、データ作成方法。

[請求項7]

空間光変調器を制御するデータを作成するプログラムであって、
強度スペクトル関数及び位相スペクトル関数を含む周波数領域の第
1 波形関数に対してフーリエ変換を行い、時間強度波形関数及び時間
位相波形関数を含む時間領域の第2 波形関数を生成するフーリエ変換
ステップと、

前記第2 波形関数に対し、所望の波形に基づく前記時間強度波形関
数の置き換えを行う関数置換ステップと、

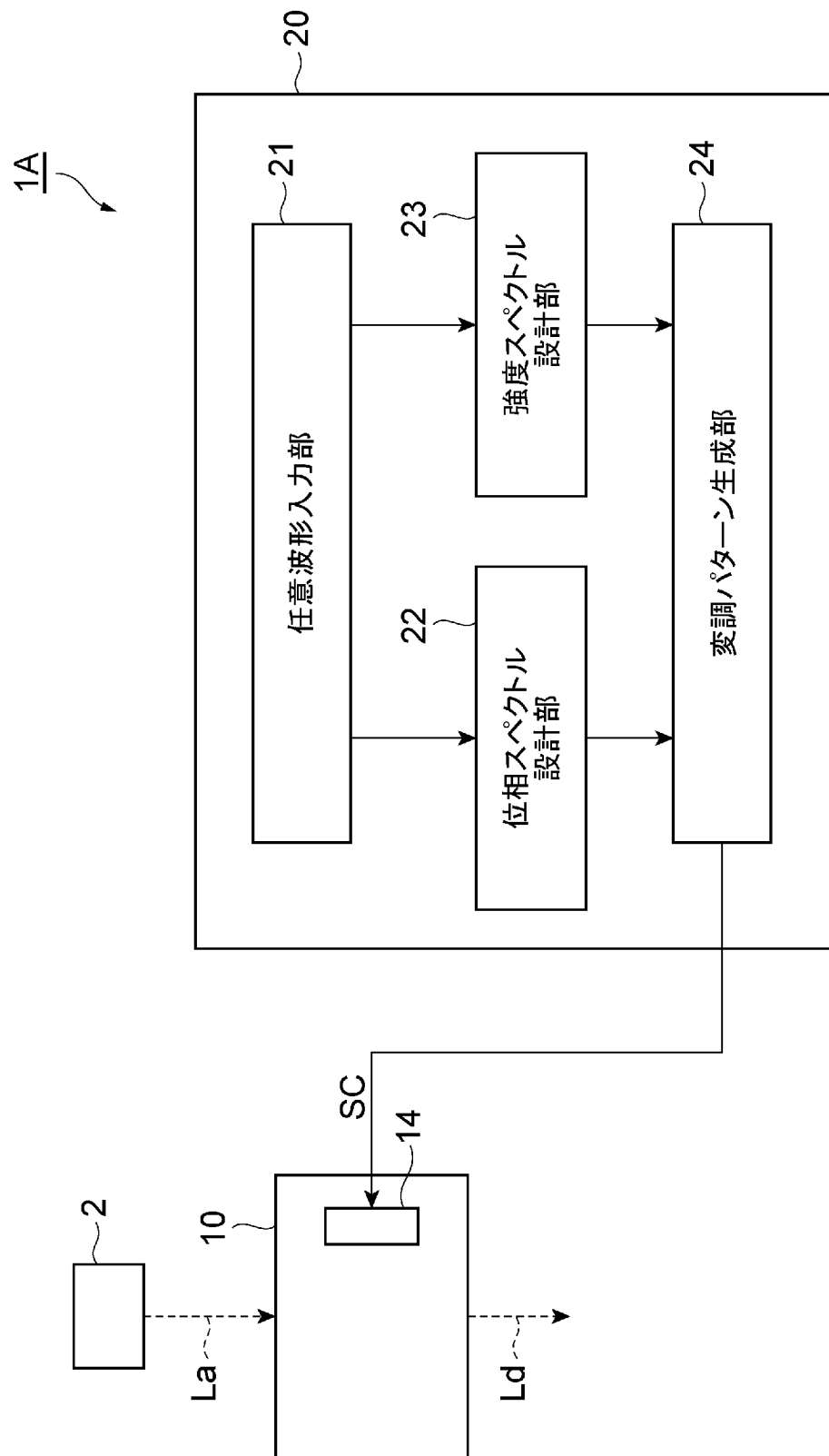
前記所望の波形及び所望の波長帯域に従って予め生成されたターゲ
ットスペクトログラムに前記第2 波形関数のスペクトログラムが近づ
くように前記第2 波形関数を修正する波形関数修正ステップと、

修正後の前記第2 波形関数に対して逆フーリエ変換を行い、周波数
領域の第3 波形関数を生成する逆フーリエ変換ステップと、

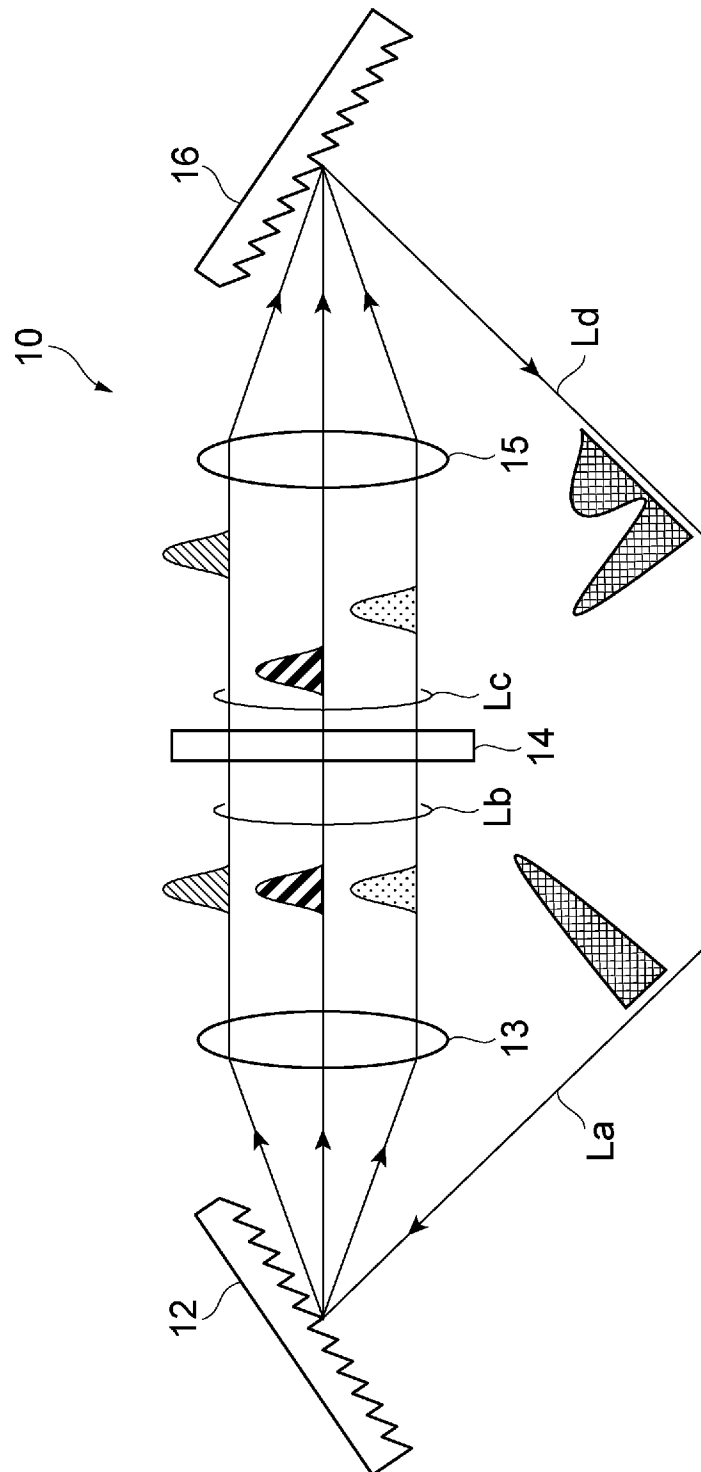
前記第3 波形関数の強度スペクトル関数又は位相スペクトル関数に
基づいて前記データを生成するデータ生成ステップと、

をコンピュータに実行させる、データ作成プログラム。

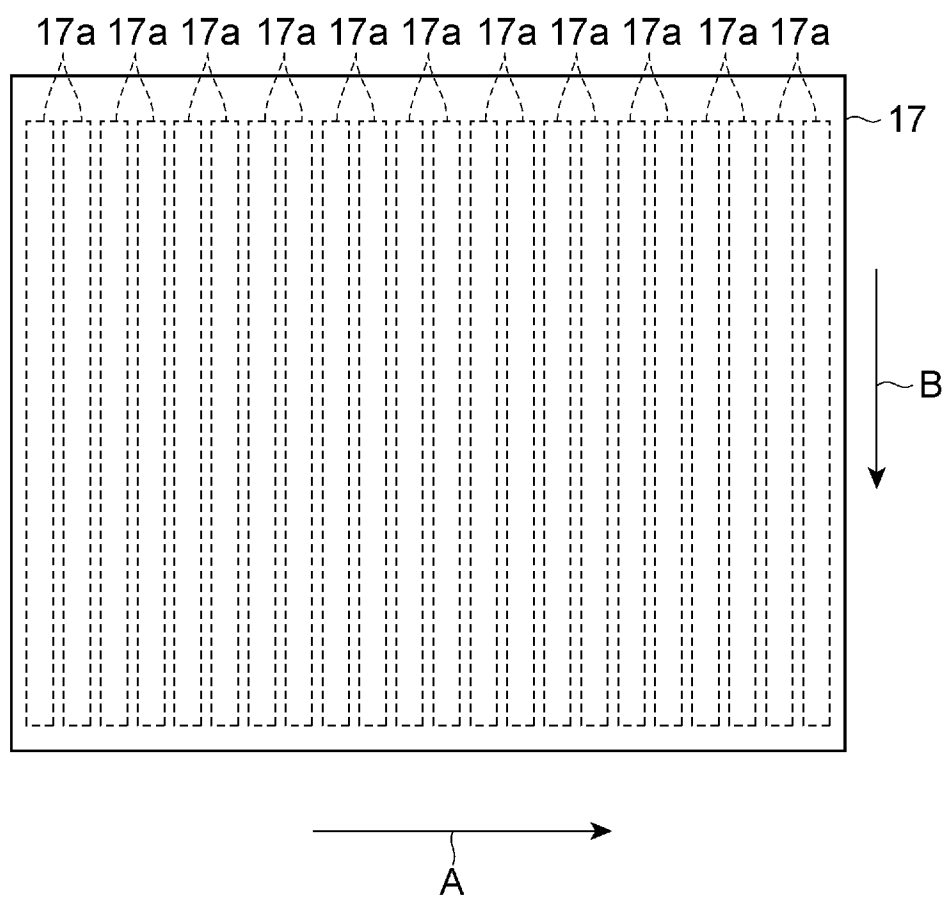
[図1]



[図2]

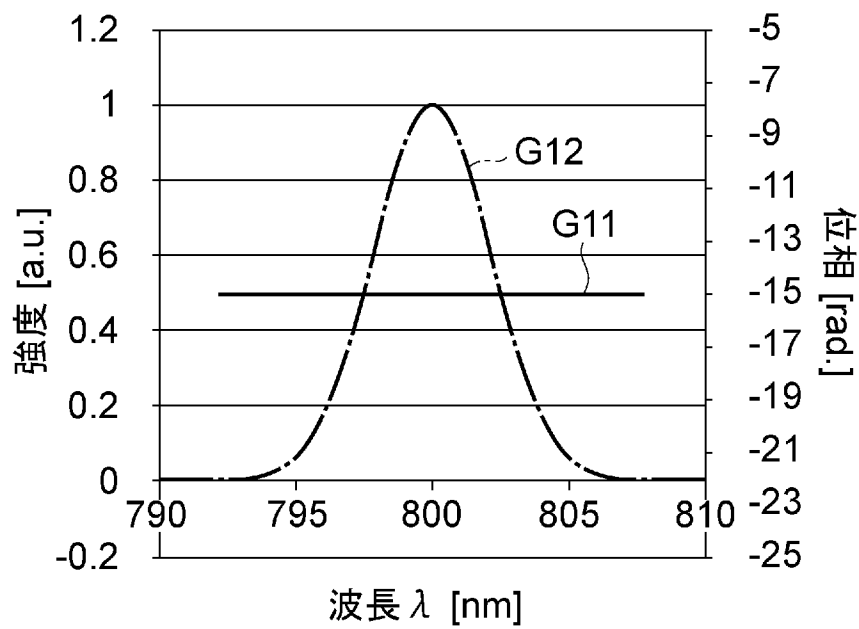


[図3]

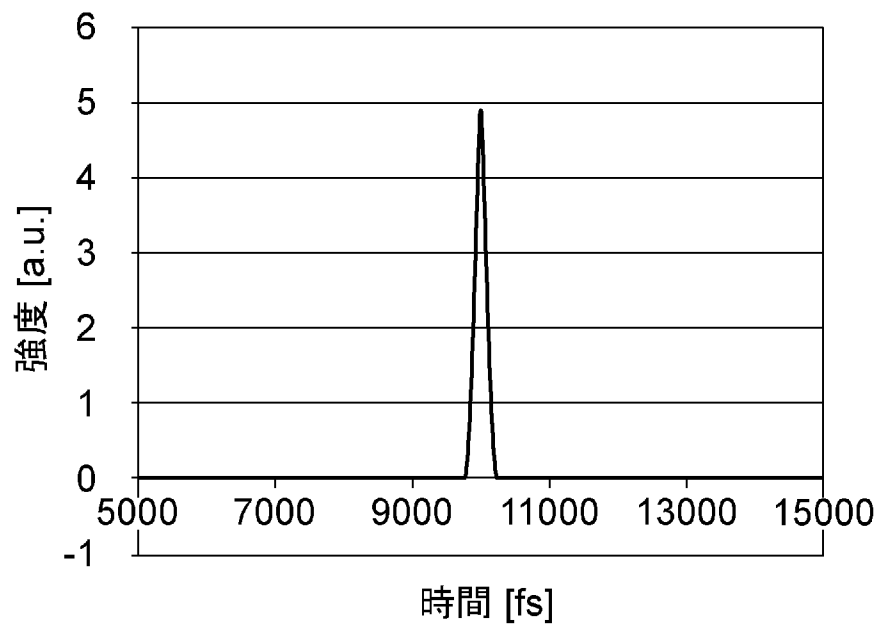


[図4]

(a)

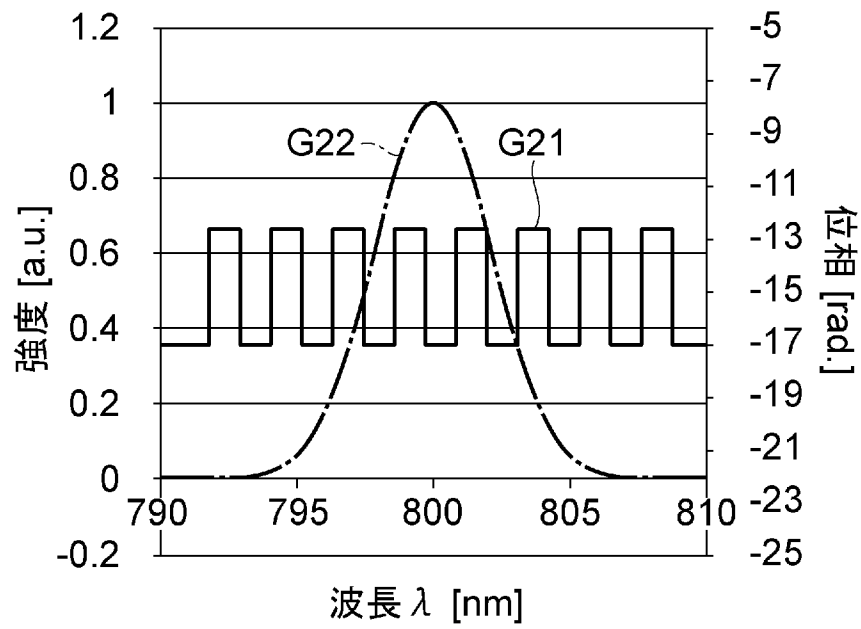


(b)

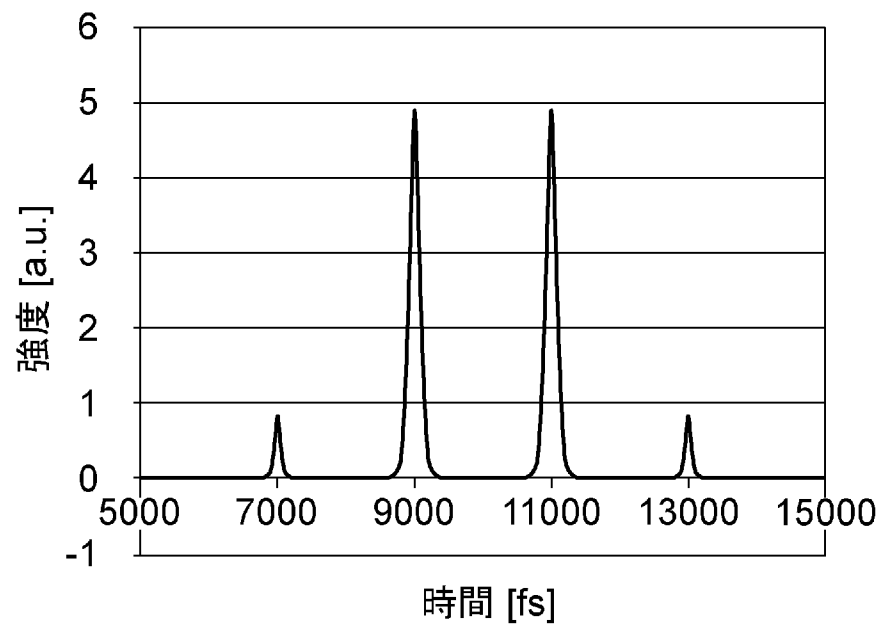


[図5]

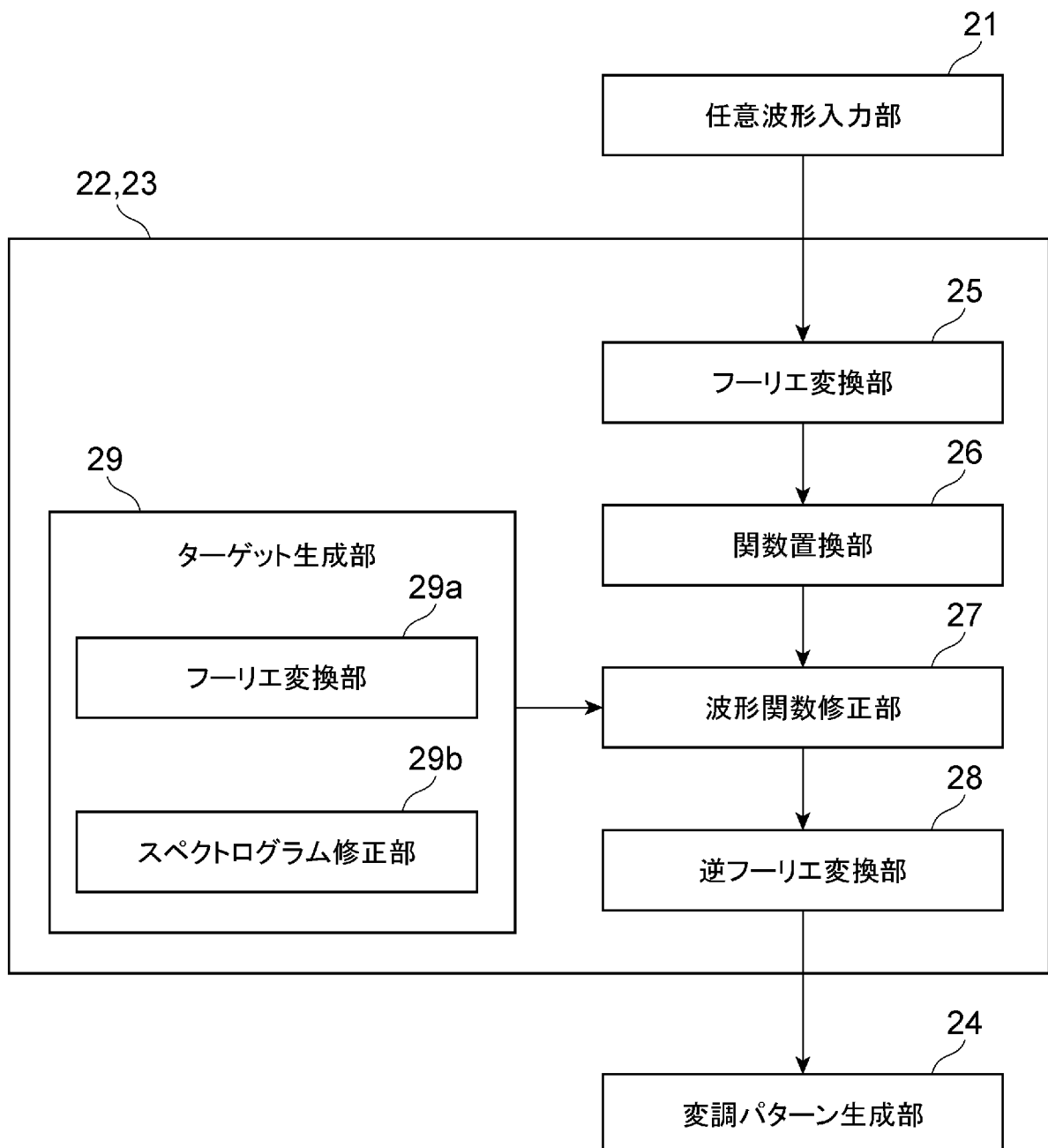
(a)



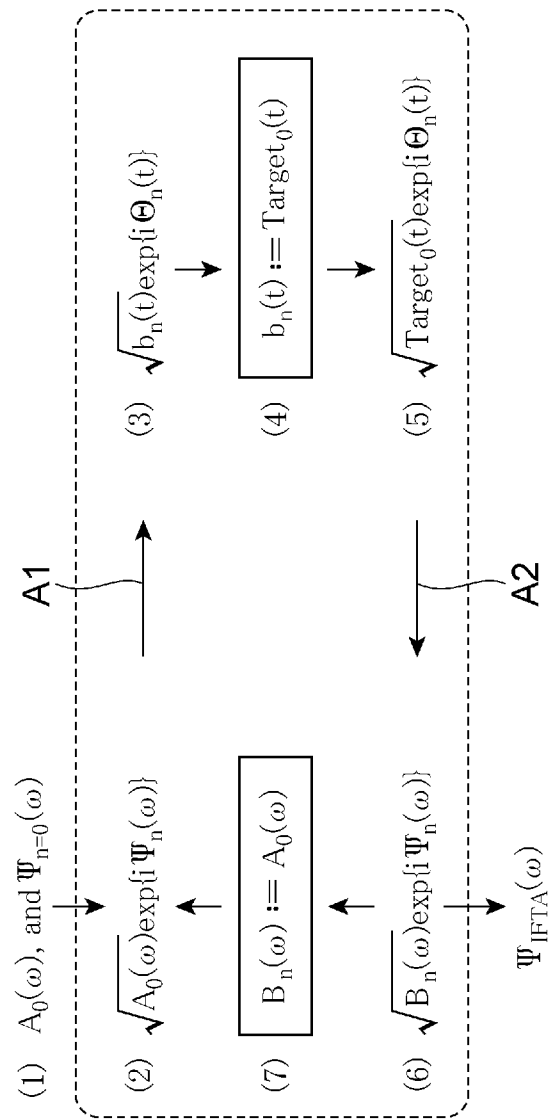
(b)



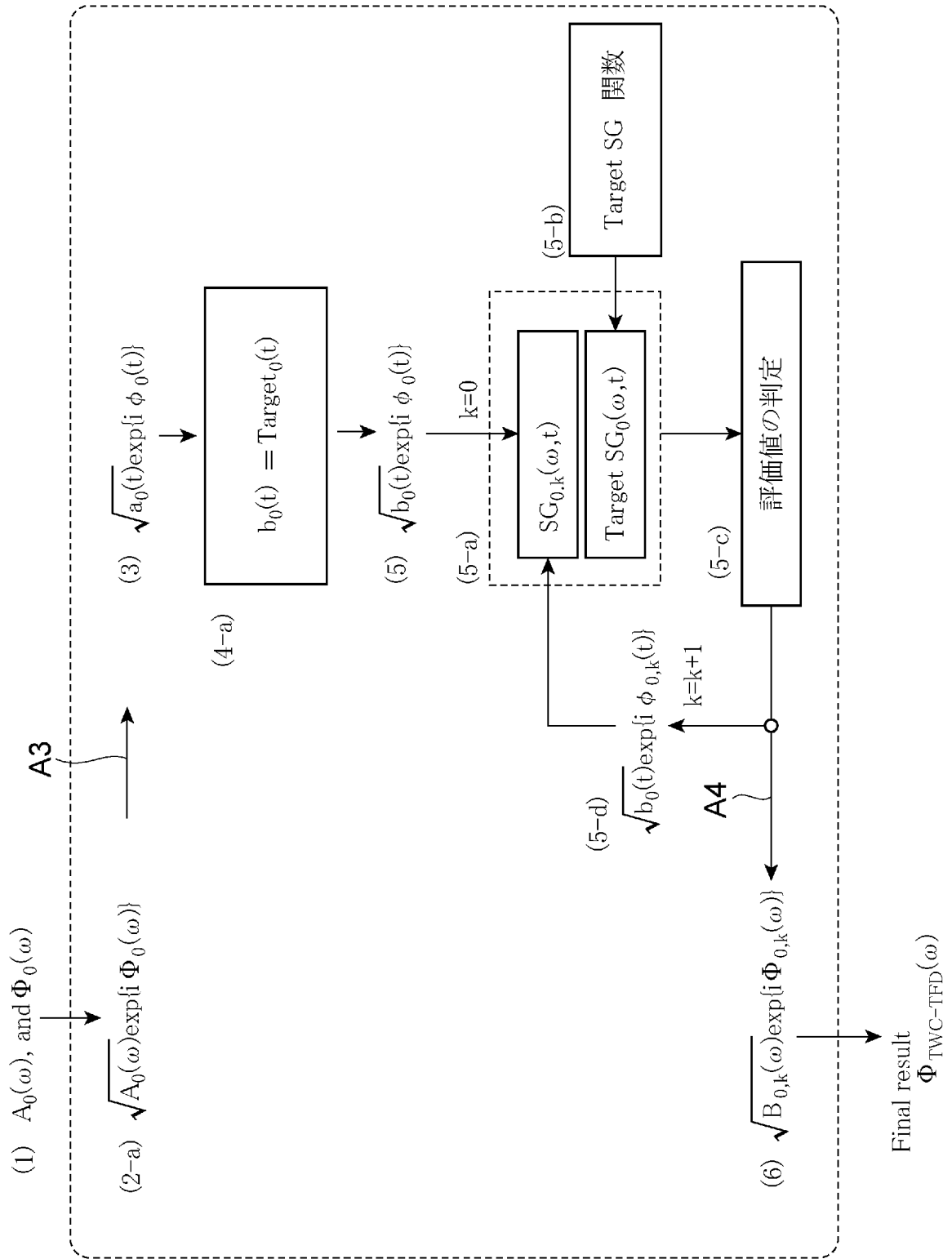
[図6]



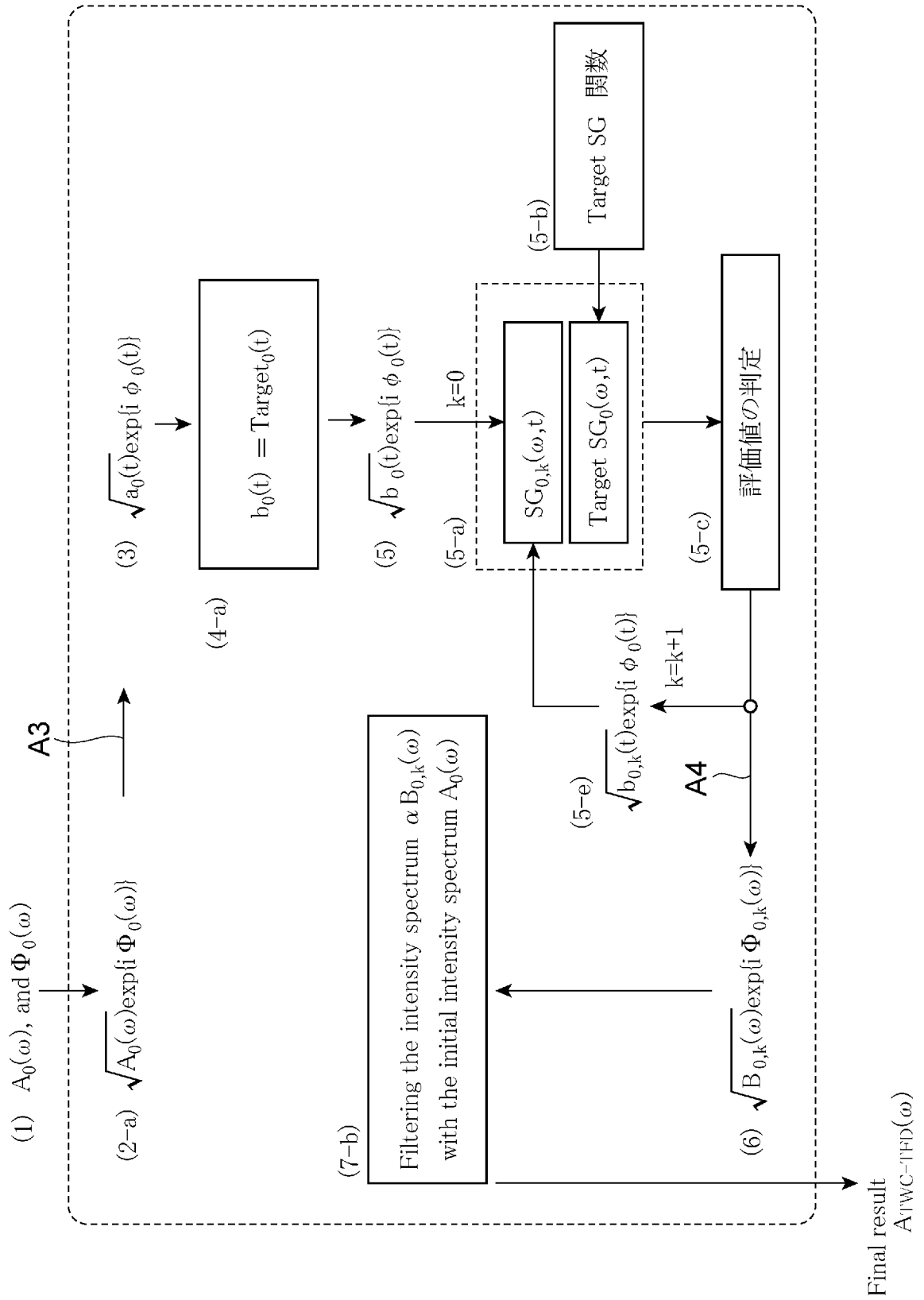
[図7]



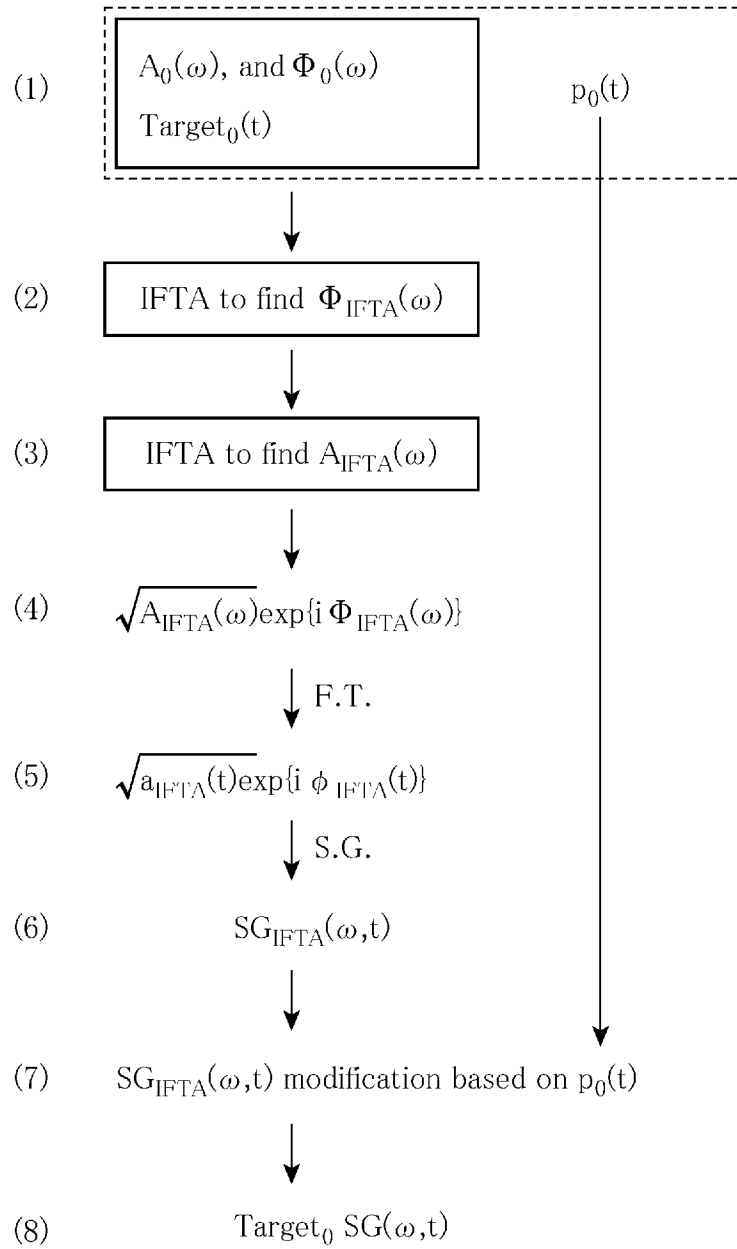
[図8]



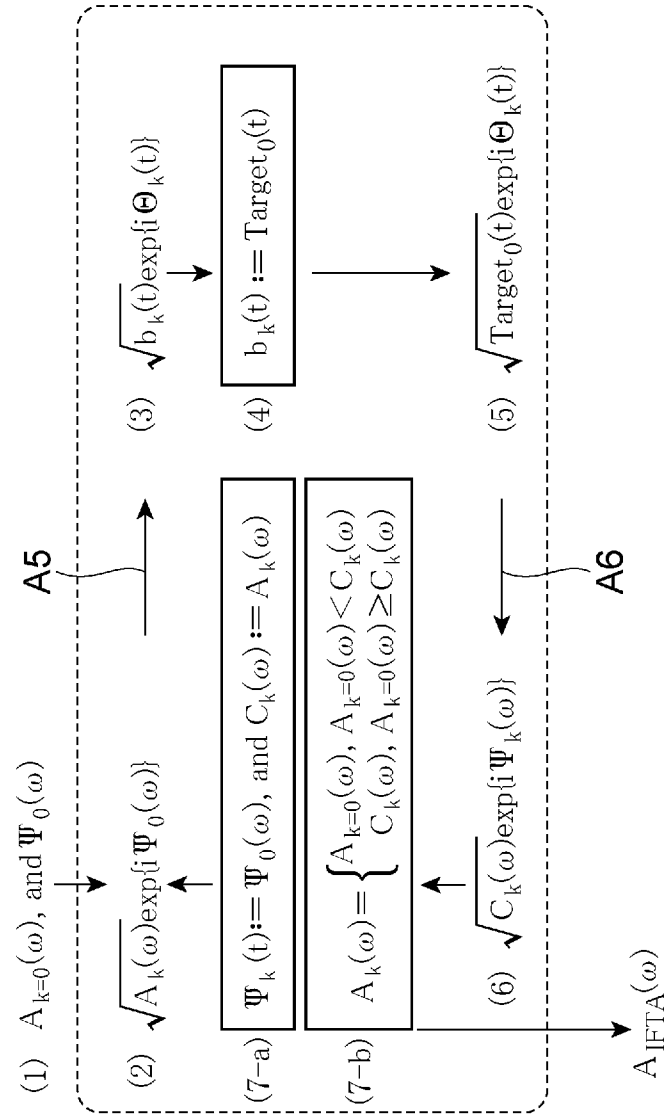
[図9]



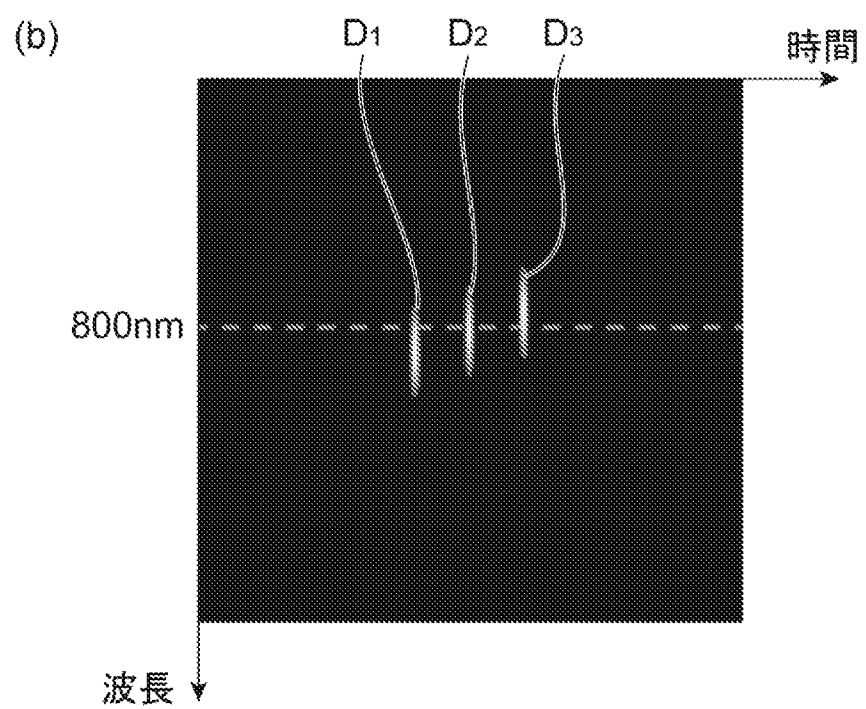
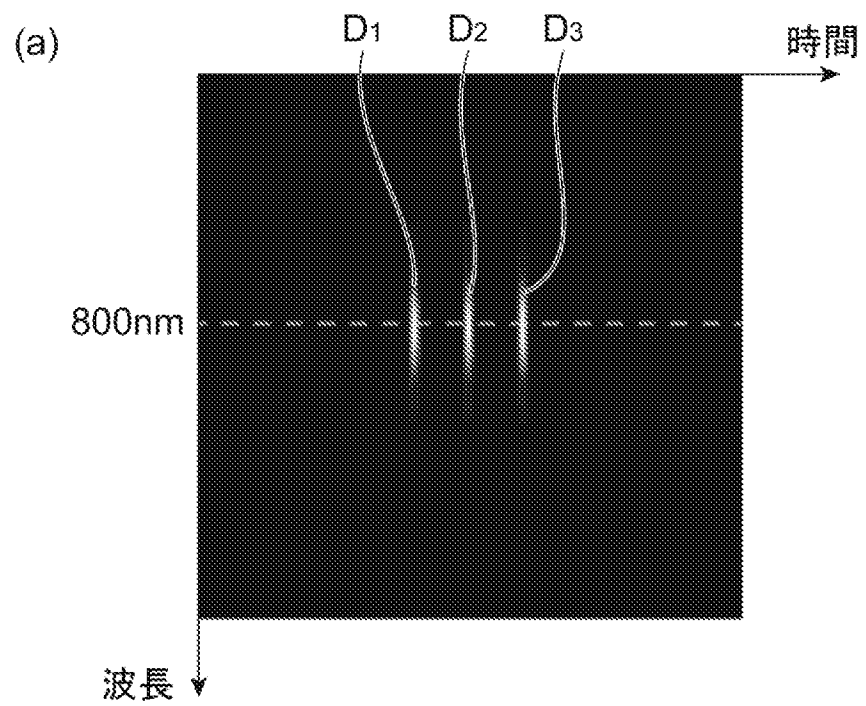
[図10]



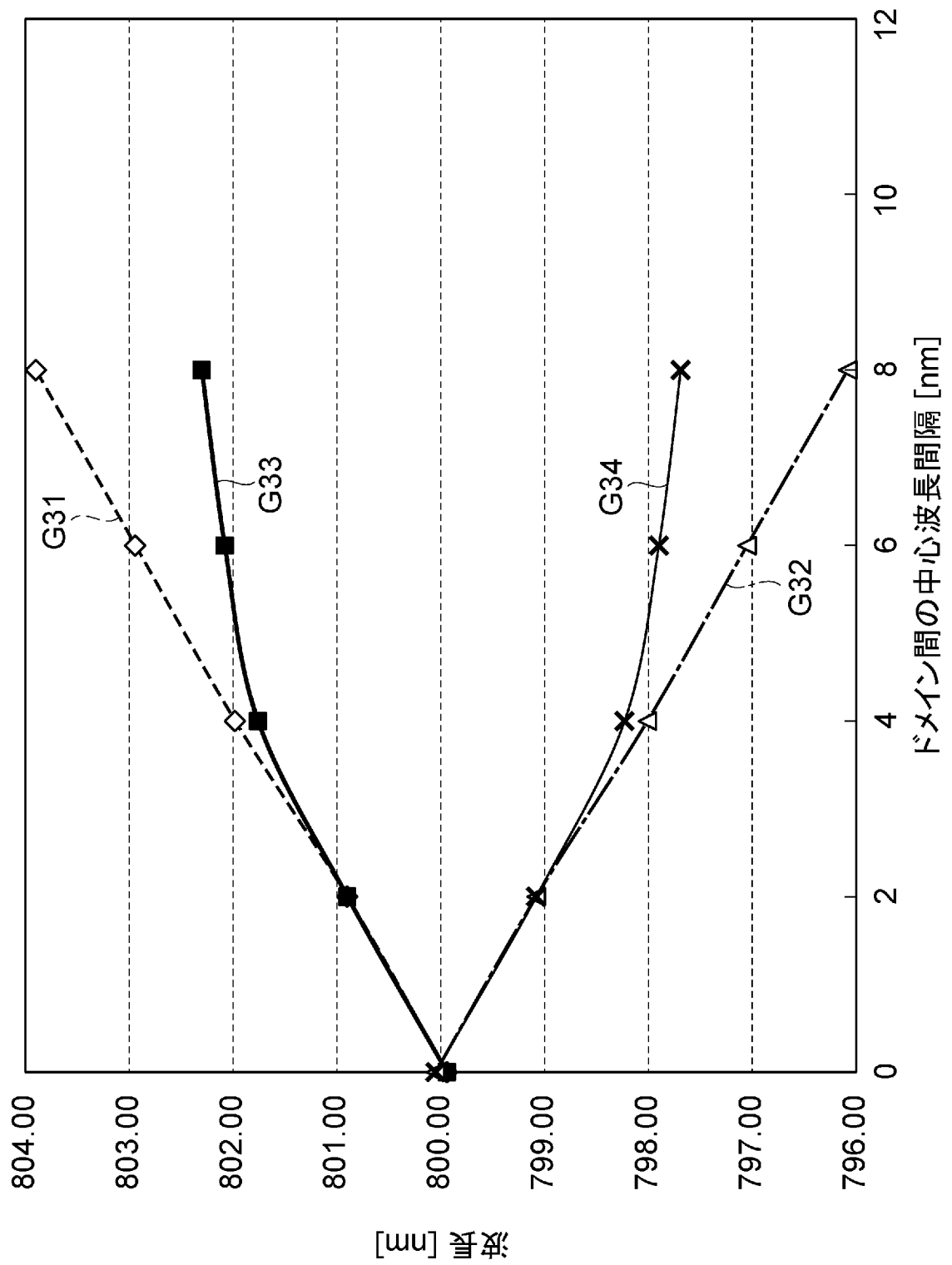
[図11]



[図12]

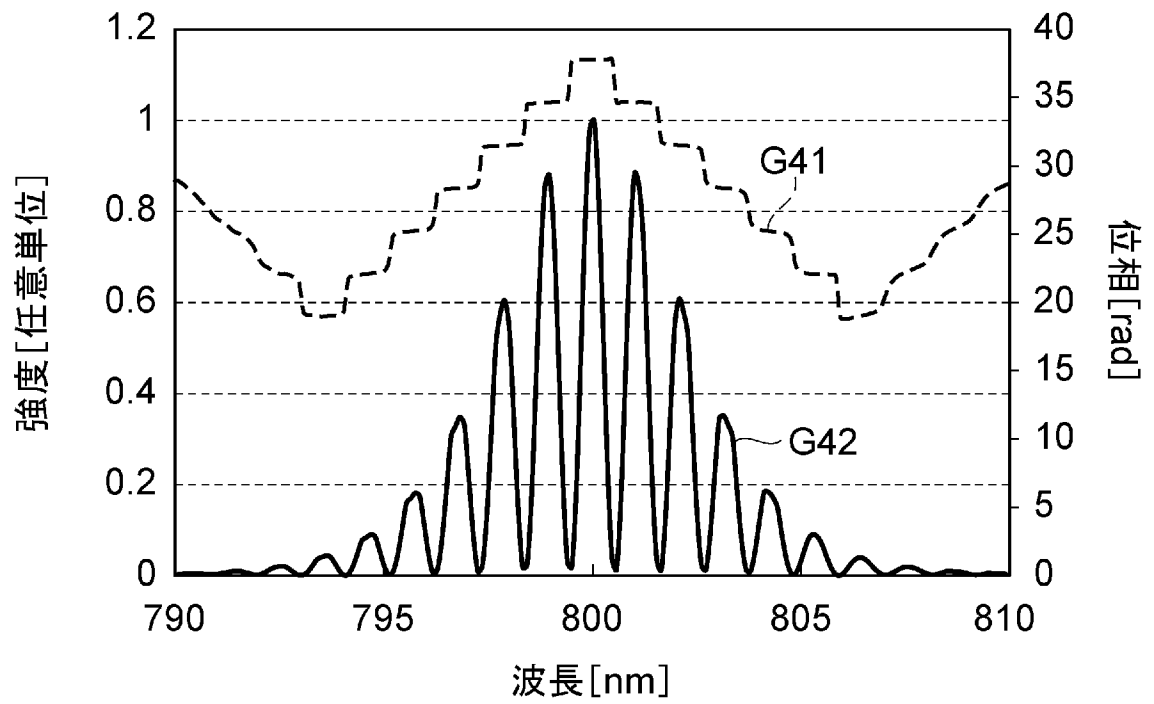


[図13]

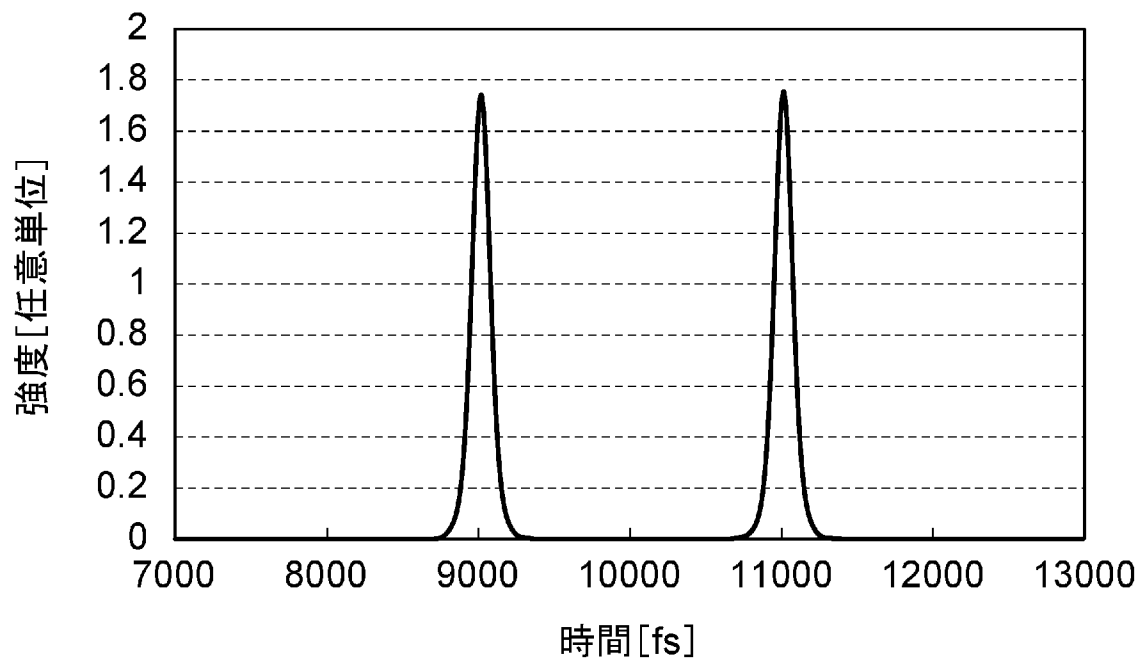


[図14]

(a)

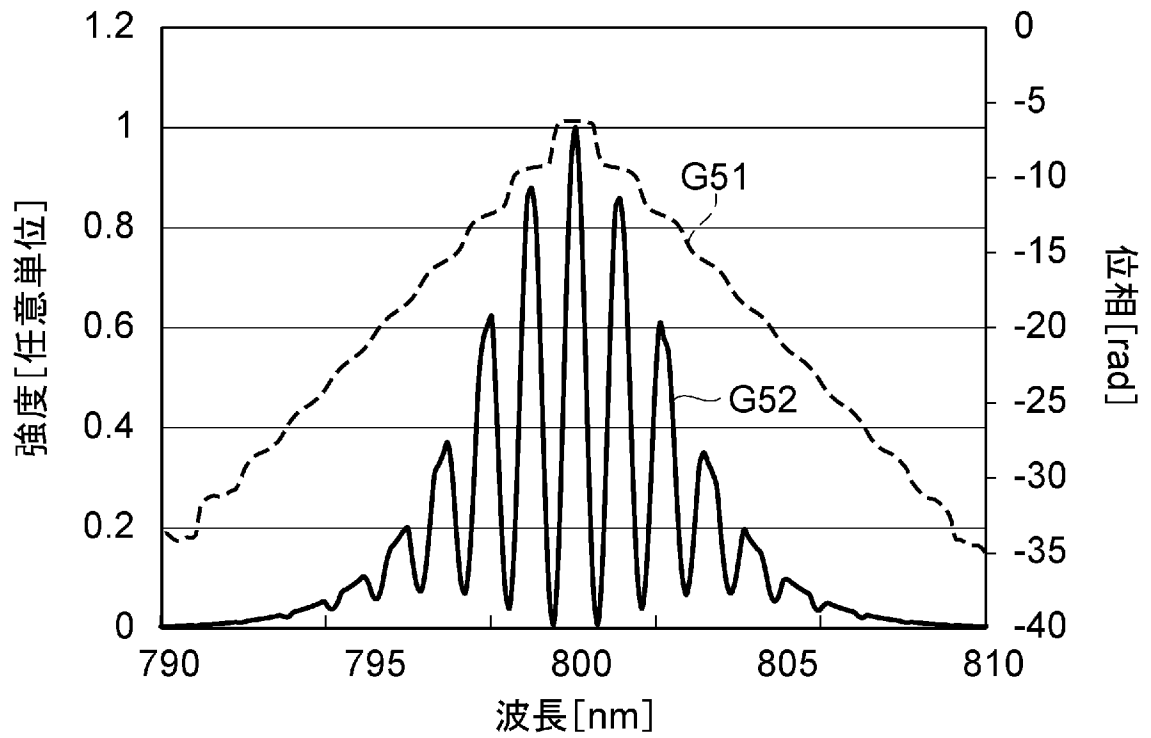


(b)

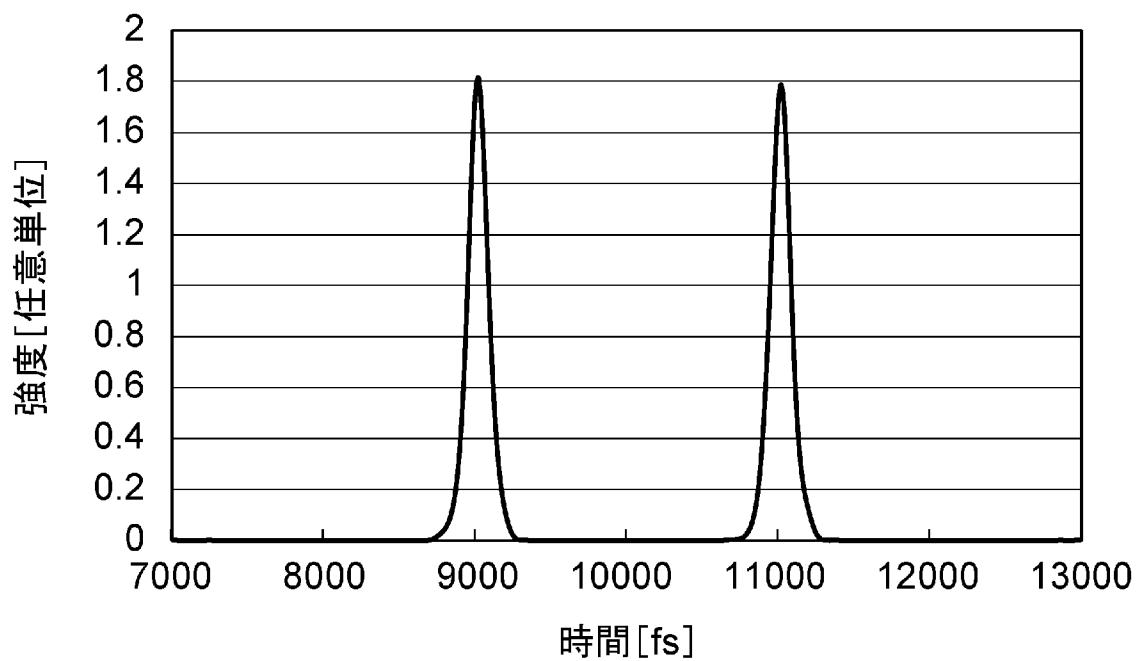


[図15]

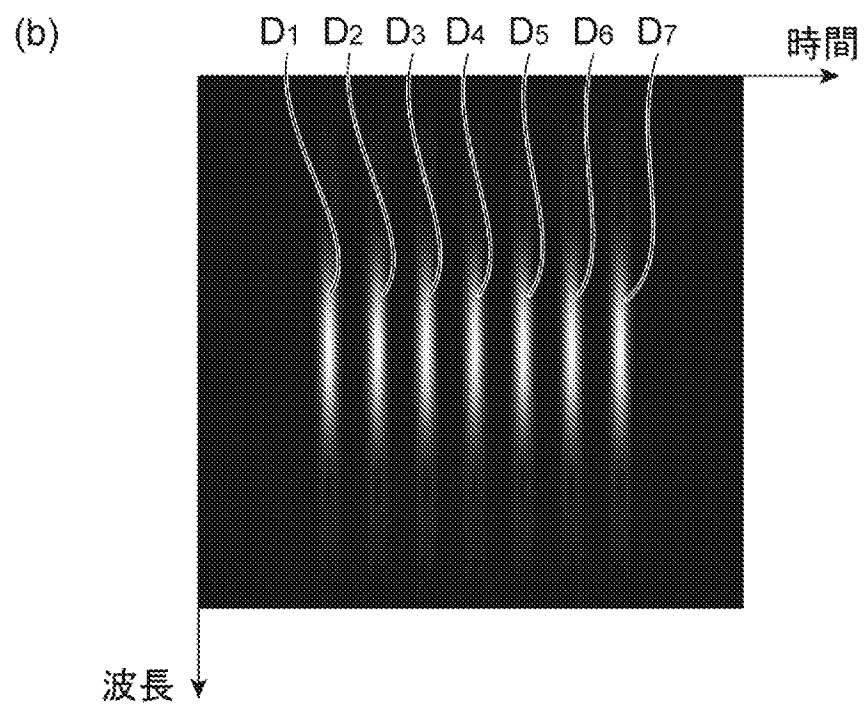
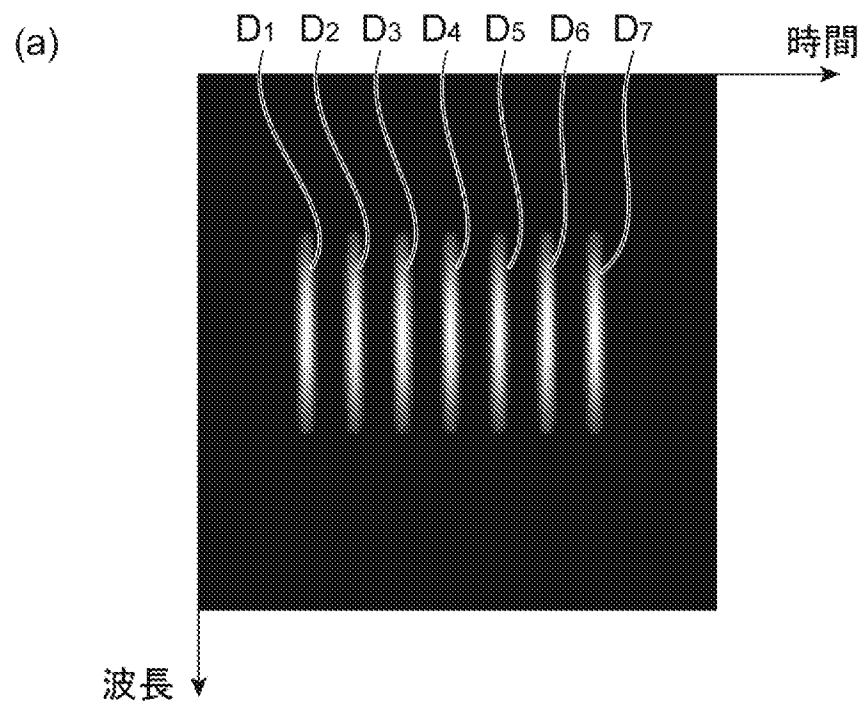
(a)



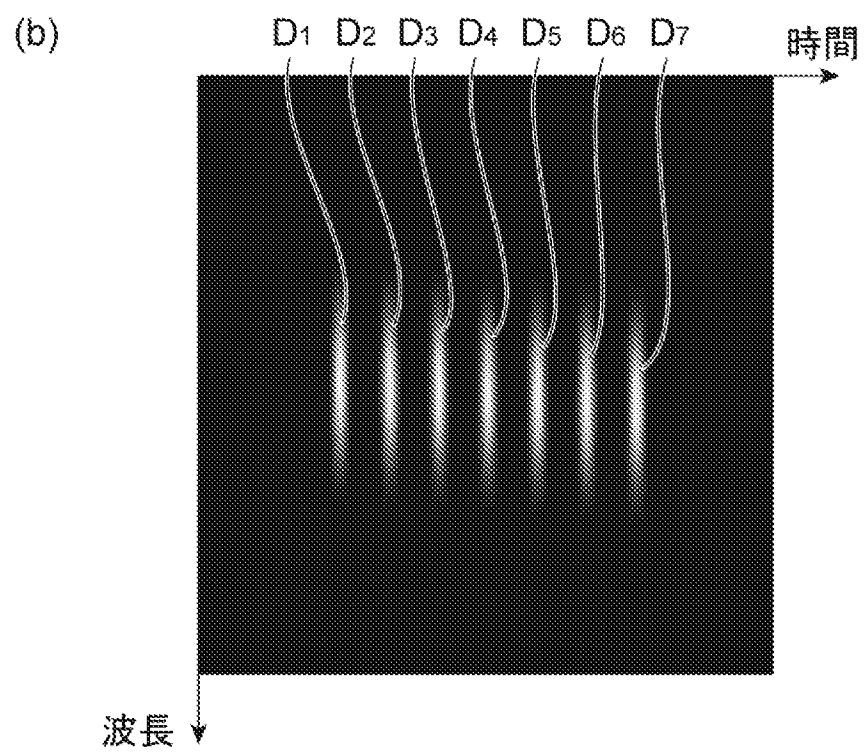
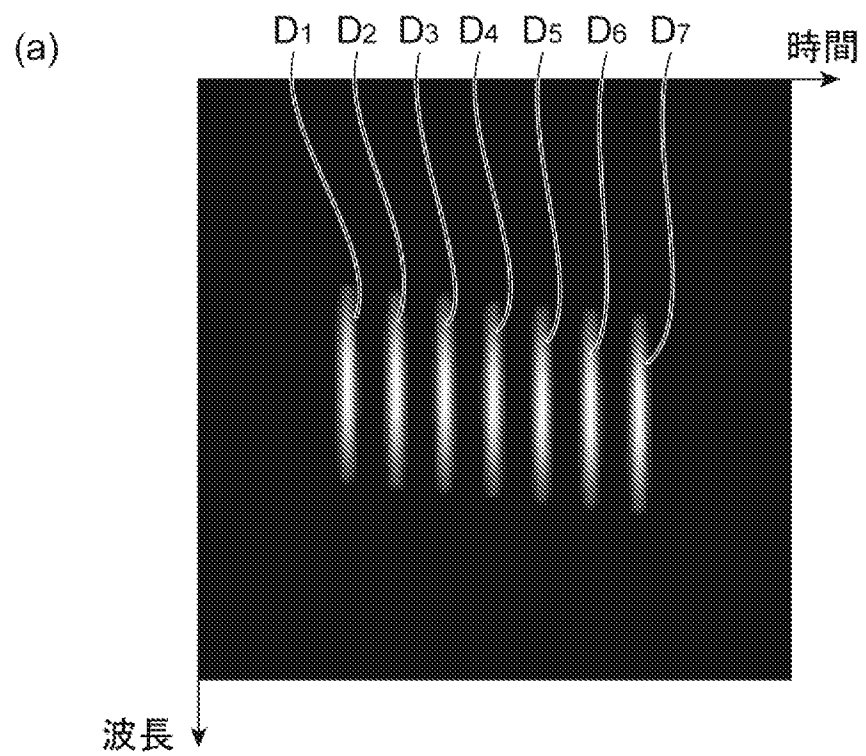
(b)



[図16]

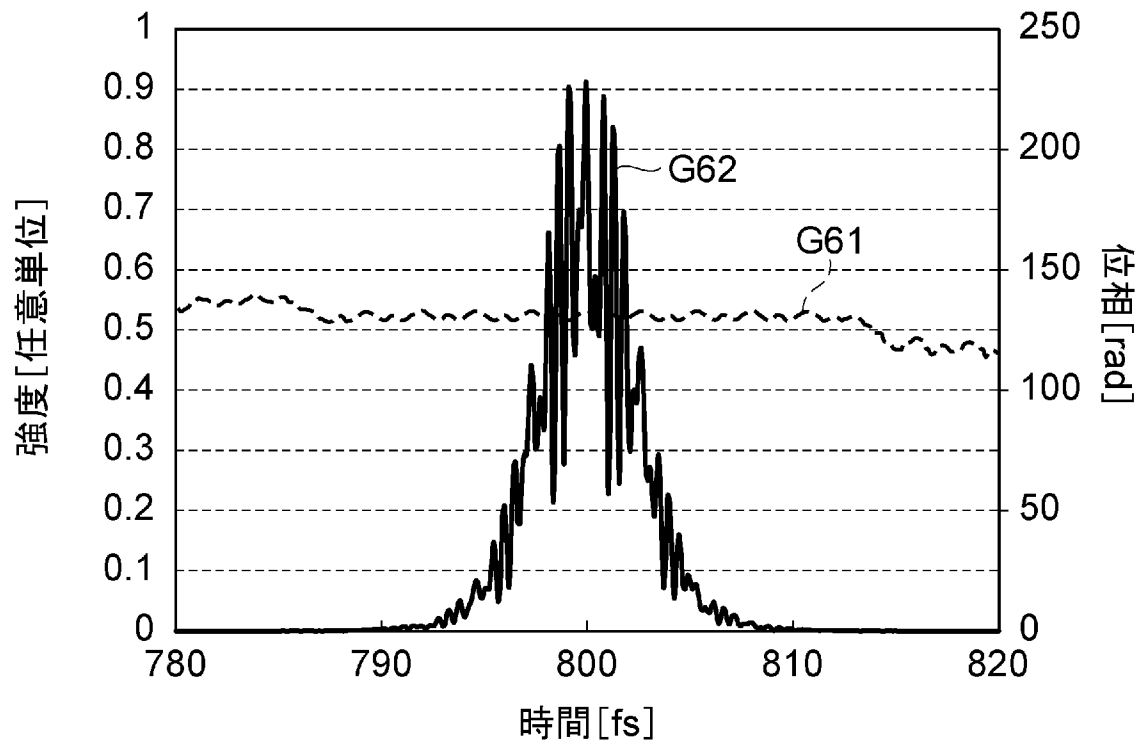


[図17]

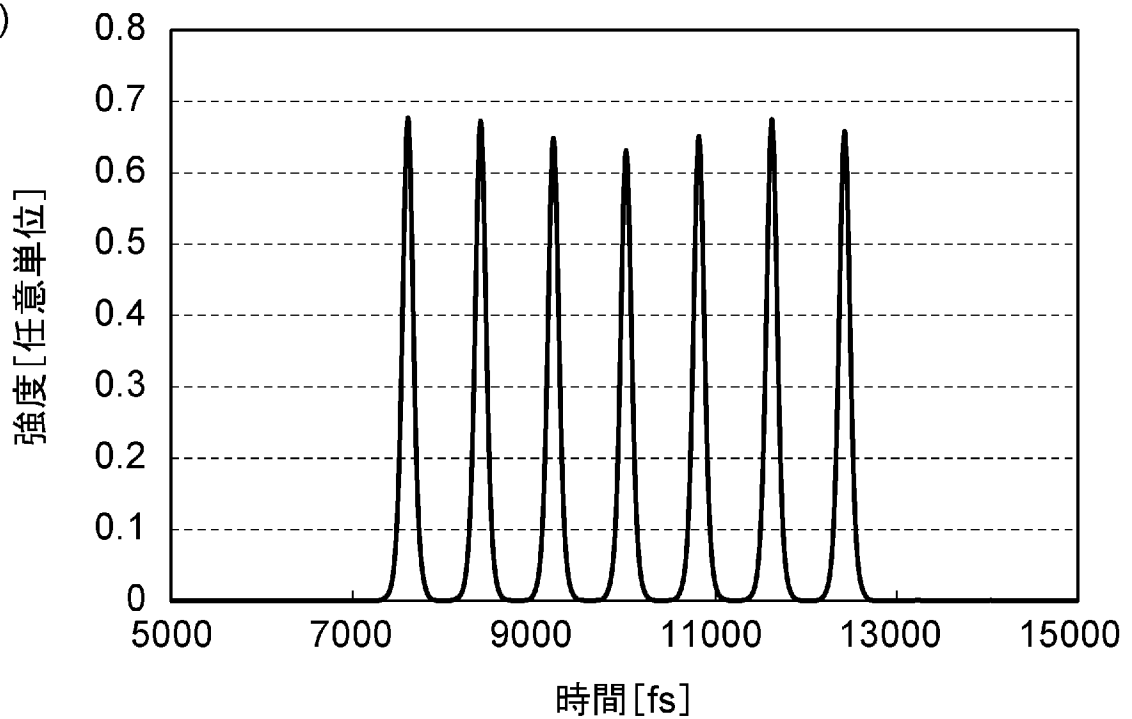


[図18]

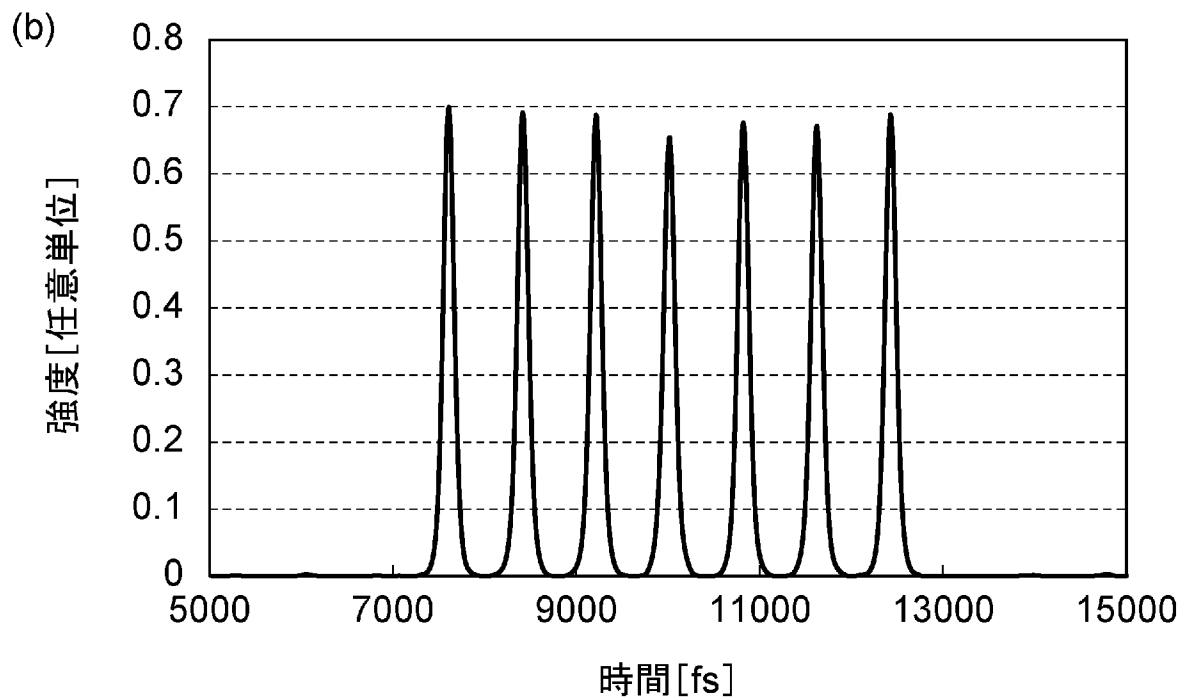
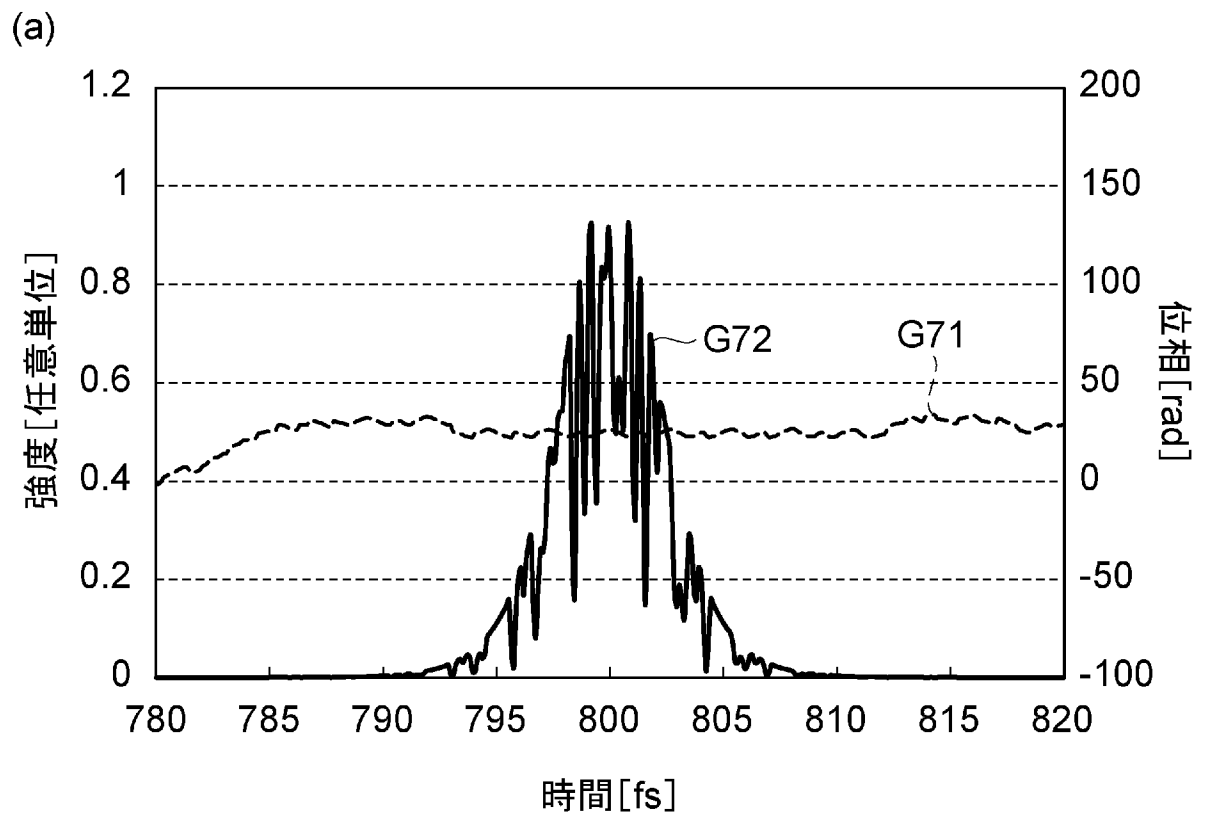
(a)



(b)



[図19]



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2017/027501

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

G02F1/01(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)

G02F1/01

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	1996-2017
Kokai Jitsuyo Shinan Koho	1971-2017	Toroku Jitsuyo Shinan Koho	1994-2017

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

OSA Publishing

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
Y	WO 2010/060460 A1 (INST.CIENCIES FOTONIQUES FUNDA.), 03 June 2010 (03.06.2010), page 13, line 19 to page 19, line 9; fig. 3 to 4 (Family: none)	1-7
Y	HACKER, M. et al., Iterative Fourier transform algorithm for phase-only pulse shaping, OPTICS EXPRESS, 2001.08.13, Vol.9, No.4, 191-199	1-7
A	JP 2016-51018 A (Hamamatsu Photonics Kabushiki Kaisha), 11 April 2016 (11.04.2016), entire text; all drawings (Family: none)	1-7

☒ 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
13 October 2017 (13.10.17)

Date of mailing of the international search report
31 October 2017 (31.10.17)

Name and mailing address of the ISA/
Japan Patent Office
3-4-3, Kasumigaseki, Chiyoda-ku,
Tokyo 100-8915, Japan

Authorized officer

Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2017/027501

C (Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	JP 11-101944 A (Satoru TOYOOKA), 13 April 1999 (13.04.1999), entire text; all drawings (Family: none)	1-7
A	US 2010/0187208 A1 (UNIV. MICHIGAN STATE), 29 July 2010 (29.07.2010), entire text; all drawings & EP 2211430 A2 & EP 221430 A3 & US 8675699 B2	1-7
A	QU,W. et al., Precise design of two-dimensional diffractive optical elements for beam shaping, APPLIED OPTICS, 2015.07.20, Vol.54, No.21, 6521- 6525	1-7

A. 発明の属する分野の分類 (国際特許分類 (IPC))

Int.Cl. G02F1/01 (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. G02F1/01

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	1971-2017年
日本国実用新案登録公報	1996-2017年
日本国登録実用新案公報	1994-2017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)

OSA Publishing

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
Y	WO 2010/060460 A1 (INST. CIENCIAS FOTONICAS FUNDA.) 2010.06.03, 第13頁第19行-第19頁第9行, 図3-4 (ファミリーなし)	1-7
Y	HACKER, M. et al., Iterative Fourier transform algorithm for phase-only pulse shaping, OPTICS EXPRESS, 2001.08.13, Vol. 9, No. 4, 191-199	1-7
A	JP 2016-51018 A (浜松ホトニクス株式会社) 2016.04.11, 全文、全 図 (ファミリーなし)	1-7

☒ 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

13.10.2017

国際調査報告の発送日

31.10.2017

国際調査機関の名称及びあて先

日本国特許庁 (ISA/J P)

郵便番号 100-8915

東京都千代田区霞が関三丁目4番3号

特許庁審査官 (権限のある職員)

佐藤 宙子

2 L

9316

電話番号 03-3581-1101 内線 3295

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	JP 11-101944 A (豊岡了) 1999.04.13, 全文、全図 (ファミリーなし)	1-7
A	US 2010/0187208 A1 (UNIV. MICHIGAN STATE) 2010.07.29, 全文、全図 & EP 2211430 A2 & EP 221430 A3 & US 8675699 B2	1-7
A	QU, W. et al., Precise design of two-dimensional diffractive optical elements for beam shaping, APPLIED OPTICS, 2015.07.20, Vol.54, No.21, 6521-6525	1-7