

(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
2024年3月21日(21.03.2024)



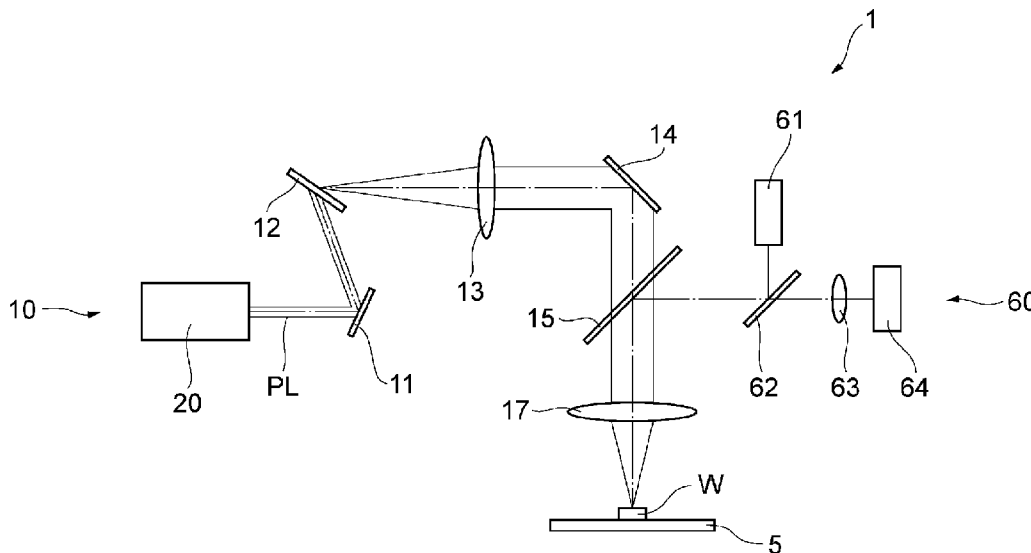
(10) 国際公開番号

WO 2024/058237 A1

- (51) 国際特許分類:
G02B 21/06 (2006.01) *G02F 1/365* (2006.01)
B23K 26/082 (2014.01) *H01S 3/067* (2006.01)
G02B 26/10 (2006.01) *H01S 3/10* (2006.01)
- (21) 国際出願番号: PCT/JP2023/033478
- (22) 国際出願日: 2023年9月14日(14.09.2023)
- (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 2022-147880 2022年9月16日(16.09.2022) JP
- (71) 出願人: 株式会社ニコン (NIKON CORPORATION) [JP/JP]; 〒1086290 東京都港区港南二丁目15番3号 Tokyo (JP).
- (72) 発明者: 徳久 章(TOKUHISA, Akira); 〒1086290 東京都港区港南二丁目15番3号 株式会社ニコン内 Tokyo (JP).
- (74) 代理人: 大西 正悟, 外(OHNISHI, Shogo et al.); 〒1700013 東京都豊島区東池袋3-20-3、東池袋SSビル1階 大西国際特許事務所 Tokyo (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, BN, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CV, CZ, DE, DJ, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IQ, IR, IS, IT, JM, JO, JP, KE, KG, KH, KN, KP, KR, KW, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LU, LY, MA, MD, MG, MK, MN, MU, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PA, PE, PG, PH, PL,

(54) Title: OPTICAL DEVICE, OPTICAL MACHINING DEVICE, MICROSCOPE DEVICE, AND SCANNING METHOD

(54) 発明の名称: 光学装置、光加工装置、顕微鏡装置、および走査方法



(57) Abstract: An optical device (10) of an optical machining device (1) includes: an optical fiber amplifier that amplifies pulsed light; a diffraction grating (12) that disperses, by a diffraction phenomenon, pulsed light (PL) output from the optical fiber amplifier; a collimator lens (13) that collimates the pulsed light (PL) scattered at the diffraction grating (12); and an objective lens (17) that condenses the pulsed light (PL) transmitted through the collimator lens (13). By changing the amplification rate of the optical fiber amplifier, the position at which time focus occurs is changed in the optical axis direction of the objective lens (17).



WO 2024/058237 A1

PT, QA, RO, RS, RU, RW, SA, SC, SD, SE, SG, SK,
SL, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA,
UG, US, UZ, VC, VN, WS, 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, CV, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SC, 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, ME, 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))

(57) 要約 : 光加工装置 (1) の光学装置 (10) が、パルス光を増幅する光ファイバ増幅器と、光ファイバ増幅器から出力されたパルス光 (PL) を回折現象により分散させる回折格子 (12) と、回折格子 (12) において分散したパルス光 (PL) を平行にするコリメータレンズ (13) と、コリメータレンズ (13) を透過したパルス光 (PL) を集光する対物レンズ (17) とを有し、光ファイバ増幅器の増幅率を変更することにより、時間フォーカスが生じる位置を対物レンズ (17) の光軸方向に変化させる。

明 細 書

発明の名称：

光学装置、光加工装置、顕微鏡装置、および走査方法

技術分野

[0001] 本発明は、光学装置、光加工装置、顕微鏡装置、および走査方法に関する。

背景技術

[0002] 光加工装置や顕微鏡装置には、パルス光を出力する光学装置を備えたものがある。パルス光を出力する光学装置を備えた顕微鏡装置の分解能を高めるため、時間フォーカス (temporal focus) と称される技術が知られている (例えば、非特許文献1を参照)。

先行技術文献

非特許文献

[0003] 非特許文献1: Durst E. 他, Simultaneous spatial and temporal focusing for axial scanning, Optics Express, 2006年, 14, 12243

発明の概要

[0004] 本発明に係る光学装置は、パルス光を増幅する増幅器と、前記増幅器から出力された前記パルス光を分散させる分散素子と、前記分散素子において分散した前記パルス光を集光する対物レンズとを有し、前記増幅器の増幅率を変更することが可能である。

[0005] 本発明に係る光加工装置は、ワークに対して照射するパルス光を走査する光学装置を有し、前記光学装置が上述の光学装置である。

[0006] 本発明に係る顕微鏡装置は、試料に対して照射するパルス光を走査する光学装置を有し、前記光学装置が上述の光学装置である。

[0007] 本発明に係る走査方法は、増幅器を用いて、パルス光を増幅することと、分散素子を用いて、前記増幅器から出力された前記パルス光を分散させることと、対物レンズを用いて、前記分散素子において分散した前記パルス光を

集光することと、前記増幅器の増幅率を変更することにより、前記対物レンズを用いて集光される前記パルス光の時間フォーカスが生じる位置を前記対物レンズの光軸方向に変化させて走査することを含む。

図面の簡単な説明

- [0008] [図1]第1実施形態に係る光学装置を備えた光加工装置を示す概要構成図である。
- [図2]時間フォーカスを利用した光学系の一例を示す模式図である。
- [図3]光ファイバ増幅器から出力されるパルス光のパルス時間幅と、光ファイバ増幅器の平均出力との関係を示すグラフである。
- [図4]光ファイバ増幅器から出力されるパルス光のスペクトル幅と、光ファイバ増幅器の平均出力との関係を示すグラフである。
- [図5]光ファイバ増幅器から出力されるパルス光のチャープの量（GDD）と、光ファイバ増幅器の平均出力との関係を示すグラフである。
- [図6]光源ユニットの概要構成図である。
- [図7]圧縮器の平面図である。
- [図8]圧縮器の側面図である。
- [図9]光ファイバ増幅器から出力されるパルス光のパルス時間幅の圧縮特性を示すグラフである。
- [図10]パルス光による走査方法の流れを示すフローチャートである。
- [図11]変形例に係る光源ユニットの概要構成図である。
- [図12]変形例に係る圧縮器の平面図である。
- [図13]変形例に係る光学装置の概要構成図である。
- [図14]変形例に係る光学装置におけるパルス光のパルス時間幅の圧縮特性を示すグラフである。
- [図15]第2実施形態に係る光学装置を備えた顕微鏡装置を示す概要構成図である。

発明を実施するための形態

- [0009] 以下、本発明に係る好ましい実施形態について説明する。まず、第1実施

形態に係る光加工装置について図1を参照して説明する。図1に示すように、第1実施形態に係る光加工装置1は、ステージ5と、光学装置10と、観察ユニット60とを有する。光加工装置1は、所望の形状に応じて作成された加工データに基づいて、制御装置（図示せず）により光学装置10やステージ5等を制御することで、加工対象物であるワークWを所望の形状に加工することが可能である。ステージ5の上面に、ワークWが載置される。ワークWの材料は、例えば、金属であってもよく、樹脂であってもよく、ガラスであってもよい。また、ステージ5は、ステージ5の上面に載置されたワークWを少なくとも光加工装置1の光軸と垂直な方向へ変位させることができるように構成されてもよい。ステージ5を駆動してワークWの位置を調整することにより、後述する光学装置10の走査幅を超える位置にも光学装置10からのパルス光を照射することができる。

[0010] 観察ユニット60は、照明光源61と、ハーフミラー62と、結像レンズ63と、撮像部64とを有する。さらに、観察ユニット60は、光学装置10のダイクロイックミラー15と、対物レンズ17とを含む。照明光源61は、LED (Light Emitting Diode) 等を用いて構成される。照明光源61は、可視光の波長帯域の照明光を発光させる。ハーフミラー62は、照明光源61から発光した照明光の一部をダイクロイックミラー15に向けて反射させる。ハーフミラー62は、ダイクロイックミラー15で反射したワークWからの光を結像レンズ63に向けて透過させる。ハーフミラー62の透過率と反射率の比率は、例えば1:1に設定される。結像レンズ63は、ハーフミラー62を透過したワークWからの光を結像させる。撮像部64は、CCD (Charge Coupled Device) やCMOS (Complementary Metal Oxide Semiconductor) 等の撮像素子を用いて構成される。撮像部64は、結像レンズ63により結像したワークWの像を撮像する。

[0011] 撮像部64により撮像取得されたワークWの画像は、不図示の表示装置に表示される。表示装置に表示される画像を介して、ワークWを観察することが可能である。なお、撮像部64により撮像取得されたワークWの画像デー

タに基づいて、制御装置（図示せず）による光学装置10やステージ5の制御量を補正するようにしてもよい。

- [0012] 次に、光学装置10について説明する。光学装置10は、ワークWに対してパルス光PLを集光する。パルス光PLのパルス時間幅は、例えば、フェムト秒（fs）オーダーの時間幅である。このようなパルス光PLは、超短パルス光とも称されるが、以降の説明において単に「パルス光」と称する。光加工装置1や後述する顕微鏡装置201の光軸方向の分解能を高めるため、時間フォーカスと称される技術が用いられる。以降の説明において、時間フォーカスと称される技術を単に「時間フォーカス」と称する場合がある。また、光学装置10を備えた光加工装置1（または顕微鏡装置101）の光軸方向をz方向と称し、光軸と垂直な方向をx方向およびy方向と称する場合がある。例えば、図2、図7、図8、図11の各矢印で示す方向をそれぞれ、x方向、y方向、z方向と称する。
- [0013] ここで、物体面（例えば、ワークWの被加工面）に対してパルス光を集光する場合について考える。パルス光の集光半径をwとし、パルス光の波数をkとし、パルス光の波長をλとする。このとき、パルス光のビーム径が略一定となるz方向の範囲、すなわちコンフォーカル長は $k w^2 = 2 \pi w^2 / \lambda$ で表される。パルス光の集光半径wを小さくすると、コンフォーカル長が短くなり、光加工装置の光軸方向（z方向）における分解能が高くなる。例えば、パルス光の波長λを1μmとし、パルス光の集光半径wを1μm程度に絞ると、パルス光の光強度が高い領域（すなわち、コンフォーカル長）は、z方向において6μm程度の限られた領域となる。仮に、パルス光の集光半径wを50μm程度に広げると、コンフォーカル長が約16mmとなり、光加工装置の光軸方向（z方向）における分解能が低くなる。
- [0014] パルス光の集光半径wを広げても、光軸方向（z方向）における分解能を高くすることが可能な時間フォーカスと称される技術が提案されている。時間フォーカスを利用した光学系の一例を図2に示す。図2において、回折格子510は、光源ユニット（図示せず）から射出されたパルス光PLを回折

現象により分散させる。回折格子510において分散したパルス光PLは、コリメータレンズ520に入射する。コリメータレンズ520を透過したパルス光PLは、平行になって対物レンズ530に入射する。対物レンズ530を透過したパルス光PLは、対物レンズ530の焦点に配置された物体面OBに集光される。なお、以降の説明では、特に断らない限り物体面OBが被加工面であるものとする。

[0015] また、回折格子510と物体面OBとは互いに共役である。回折格子510において分散したパルス光PLがコリメータレンズ520へ向かうに従って、パルス光PLのパルス時間幅が拡大する。そして、パルス光PLがコリメータレンズ520および対物レンズ530を透過して回折格子510と共役な物体面OBに達すると、パルス光PLのパルス時間幅が縮小し、回折格子510に入射する際の際の元のパルス時間幅が再現される。このような現象を時間フォーカスと称する。物体面OBからz方向に離れた位置では、パルス光PLのパルス時間幅が相対的に大きくなるため、パルス光PLのピークパワーが低下し、パルス光PLによる加工効率が低下する。その結果、光加工装置の光軸方向（z方向）における分解能を高めることが可能になる。

[0016] 図2に例示される時間フォーカスを利用した光学系において、物体面OBの近傍におけるパルス光PLのパルス時間幅は、近似的に次式(1)で表される。

[0017] [数1]

$$\tau(z) = \tau_0 \sqrt{1 + \left(\frac{z}{z_R}\right)^2} \quad \dots(1)$$

[0018] ここで、 τ_0 は、パルス光PLがフーリエ限界パルス (Transform Limited Pulse) である場合、つまりチャープがなく、GDD (Group Delay Dispersion) = 0の場合のパルス光PLのパルス時間幅を示す。ここでは、回折格子510にフーリエ限界パルスのパルス光PLが入射すると仮定している。また、 z_R は、近似的に次式(2)で表される。

[0019] [数2]

$$z_R \approx \frac{2f^2}{k_0 \alpha^2 \Omega^2} \quad \dots (2)$$

[0020] ここで、 f は、対物レンズ530の焦点距離を示す。 k_0 は、回折格子510において分散したパルス光PLのスペクトルにおける中心周波数での波数を示す。パルス光PLのスペクトルのうち周波数 ω の単色波の対物レンズ530に対する入射位置での x 方向の座標は、 $x = \alpha \omega$ で表される。なお、周波数 ω については、パルス光PLのスペクトルにおける中心周波数が零(0)となるようにオフセットされている。 α は、回折格子510の分散(または、線密度、入射角)、コリメータレンズ520の焦点距離 f_c 等によって決まる係数である。 Ω は、パルス光PLのスペクトルにおける最大周波数である。パルス光PLの対物レンズ530に対する入射位置での x 方向の幅(すなわち、回折格子510において分散したパルス光PLの分散方向の幅)は、概ね $2\alpha\Omega$ となる。ここでは、パルス光PLのスペクトルにおける単色波の直径 s (図2を参照)について、 $s \ll \alpha\Omega$ であると仮定している。

[0021] また、 $z = 0$ の位置は、回折格子510と共役な位置に対応する。式(1)から分かるように、 $z = 0$ になると、パルス光PLのパルス時間幅が最小となり、 $z > z_R$ になると、パルス光PLのパルス時間幅の拡大が顕著となる。従って、 $z > z_R$ になると、パルス光PLのパルス時間幅が拡大してパルス光PLのピークパワーが低下することから、光加工装置の光軸方向(z 方向)における分解能は、 z_R の程度であるといえる。例えば、 $f = 10 \text{ mm}$ 、 $\alpha\Omega = 3 \text{ mm}$ 、 $\lambda = 1 \mu\text{m}$ の場合、 z_R が $3 \mu\text{m}$ 程度となる。すなわち仮に、パルス光の集光半径 w を $50 \mu\text{m}$ 程度にしたとしても、時間フォーカスの効果により、光加工装置の z 方向における分解能が μm オーダーとなる。このように、時間フォーカスの効果により、パルス光の集光半径を広げても、光加工装置の光軸方向(z 方向)における分解能が高くなるため、ワークに対して除去加工等の微細加工を行うことが可能になる。また、ワークの材料が透

明の樹脂やガラスである場合、時間フォーカスの効果により、ワークの内部に対して微細加工を行うことが可能になる。 $z = 0$ の位置におけるパルス光のピークパワーを、ワークに対する加工が可能な加工しきい値付近に設定することにより、光加工装置の光軸方向における分解能（加工分解能）をより高めることが可能になる。

[0022] 時間フォーカスが生じる z 方向の位置は、パルス光 PL をチャープさせる（周波数を時間とともに変化させる）ことで変更することができる。チャープの量は、最低次においては GDD （ $f s^2$ もしくは $p s^2$ ）を用いて表される。チャープの量 β と、時間フォーカスが生じる z 方向の位置の変化 Δz との関係は、近似的に次式（3）で表される。

[0023] [数3]

$$\Delta z \approx \beta \Omega^2 z_R \quad \dots (3)$$

[0024] ここで、 $\beta = GDD / 2$ である。例えば、 $\beta = 10000 f s^2$ ($GDD = 20000 f s^2$)、 $z_R \sim 10 \mu m$ 、 $\Omega \sim 0.033 rad / fs$ ($\sim 70 fs$ のパルス光に対応)の場合、 $\Delta z \sim 110 \mu m$ となる。

[0025] フーリエ限界パルスのパルス光をチャープさせるには、石英等の硝材に通す方法や、プリズムペアや回折格子対（グレーティングペア）を利用する方法等がある。プリズムペアを利用する場合、プリズム間隔、あるいは光路へのプリズムの挿入の程度を変えることで、パルス光の GDD を変えることができる。回折格子対（グレーティングペア）を利用する場合、回折格子間隔を変えることで、パルス光の GDD を変えることができる。文献「Durst E. 他, Simultaneous spatial and temporal focusing for axial scanning, Optics Express, 2006年, 14, 12243」では、プリズムペアを調整することで、 GDD を $11000 f s^2$ 程度変化させることにより、時間フォーカスが生じる位置を $140 \mu m$ 変化させることが可能であることを実験的に示している。この方法では、機械的にプリズムの位置を変更するため、時間フォーカスが生じる位置を変化させるのに時間が掛る。本実施

形態では、光ファイバ増幅器を用いた光源ユニットと、時間フォーカスを利用した光学系とを組み合わせ、時間フォーカスが生じる位置を高速に変化させる。

[0026] 光ファイバ増幅器は、1 m～数十m程度の長さを有する光ファイバで構成される。光ファイバのコア径は、数 μm ～数十 μm 程度である。このように長尺でコア径が小さい光ファイバを用いるので、光ファイバ増幅器における分散、非線形性ともに大きい。パルス光を光ファイバ増幅器で増幅する際、光ファイバ増幅器から出力されるパルス光のパルス時間幅およびスペクトル幅は、光ファイバ増幅器の増幅率に応じて変化する。パルス光のチャープ（GDD）は、概ね「パルス時間幅／スペクトル幅（ps/nm）」に比例する。なお、ps/nmとps²の間には、例えば中心波長1.06 μm のパルス光に対して、ps/nm=-1.68ps²の関係がある。光ファイバ増幅器の増幅率の変化に対するパルス光のパルス時間幅の変化の仕方と、光ファイバ増幅器の増幅率の変化に対するパルス光のスペクトル幅の変化の仕方は、一般には異なる。従って、光ファイバ増幅器の増幅率に応じて、パルス光のチャープ（GDD）が変化することが期待される。

[0027] 図3に、光ファイバ増幅器から出力されるパルス光のパルス時間幅と、光ファイバ増幅器の平均出力との関係を示す。図4に、光ファイバ増幅器から出力されるパルス光のスペクトル幅と、光ファイバ増幅器の平均出力との関係を示す。図3および図4に示すグラフにおいて、光ファイバ増幅器への入力として、周期=350fs、波長=1.56 μm のパルス光を用いている。光ファイバ増幅器として、長さ～16m、モードフィールド径（Mode Field Diameter：MFD）～5 μm 、正常分散のエルビウム添加光ファイバ増幅器（Erbium Doped Fiber Amplifier：EDFA）を用いている。光ファイバ増幅器の平均出力は、パルス光のパルスエネルギー（1パルスあたりのエネルギー）に比例する。図3および図4より、光ファイバ増幅器の平均出力、すなわちパルスエネルギーを増加させたときのパルス時間幅の増加割合に対して、パルスエネルギーを増加させたときのスペクトル幅の増加割合が

大きいことが分かる。

[0028] 図5に、図3および図4から求められた、光ファイバ増幅器から出力されるパルス光のチャープの量（GDD）と、光ファイバ増幅器の平均出力との関係を示す。図5は、光ファイバ増幅器の平均出力、すなわちパルスエネルギーの変化に応じて、光ファイバ増幅器から出力されるパルス光のチャープの量（GDD）が $0.17 \sim 0.2 \text{ ps}^2$ （ $170000 \sim 200000 \text{ fs}^2$ ）の範囲で変化することを示す。

[0029] 図1に示すように、第1実施形態に係る光学装置10は、光源ユニット20と、第1ミラー11と、回折格子12と、コリメータレンズ13と、第2ミラー14と、ダイクロイックミラー15と、対物レンズ17とを有する。光源ユニット20は、例えば、 $1 \mu\text{m}$ の波長帯域のパルス光PLを射出する。第1ミラー11は、光源ユニット20から射出されたパルス光PLを回折格子12に向けて反射させる。回折格子12は、第1ミラー11で反射したパルス光PLを回折現象により分散させる。コリメータレンズ13は、回折格子12において分散したパルス光PLを平行にする。

[0030] 第2ミラー14は、コリメータレンズ13を透過したパルス光PLをダイクロイックミラー15に向けて反射させる。なお、第2ミラー14に代えて、コリメータレンズ13を透過したパルス光PLをダイクロイックミラー15に向けて反射させるガルバノミラー（図示せず）が設けられてもよい。ガルバノミラーは、反射面の向きを変化させることにより、パルス光PLの進行方向を変化させることが可能である。ガルバノミラーによりパルス光PLの進行方向を変化させることで、ワークWにおける対物レンズ17の光軸と垂直な平面（被加工面）において走査を行うことが可能である。ガルバノミラーは、対物レンズ17の瞳の位置または瞳と共役な位置に設けられることが望ましい。

[0031] ダイクロイックミラー15は、ダイクロイックミラー15に入射したパルス光PLを対物レンズ17に向けて透過させる。また、ダイクロイックミラー15は、ダイクロイックミラー15に入射した観察ユニット60（ハーフ

ミラー62)からの照明光を対物レンズ17に向けて反射させる。ダイクロイックミラー15は、対物レンズ17を介してダイクロイックミラー15に入射したワークWからの光(可視光)を観察ユニット60(ハーフミラー62)に向けて反射させる。

[0032] 対物レンズ17は、ダイクロイックミラー15を透過したパルス光PLをワークWに対して集光する。なお、回折格子12とワークW(被加工面)とは互いに共役である。また、対物レンズ17は、ダイクロイックミラー15で反射した照明光をワークWに照射する。対物レンズ17には、照明光が照射されたワークWからの光が入射する。対物レンズ17に入射したワークWからの光(可視光)は、対物レンズ17を透過してダイクロイックミラー15で反射する。

[0033] 次に、光源ユニット20について図6~図8を参照して説明する。図6に示すように、光源ユニット20は、オシレータ22と、第1光アイソレータ23と、第2光アイソレータ24と、第1光ファイバ増幅器25と、第2光ファイバ増幅器26と、コリメータレンズ29と、圧縮器31とを有する。オシレータ22は、モードロックファイバレーザを利用して構成される。オシレータ22は、パルス時間幅が100fs~1ps程度のフーリエ限界パルスであるパルス光を発生させる。第1光アイソレータ23は、オシレータ22と第1光ファイバ増幅器25との間に設けられる。第2光アイソレータ24は、第1光ファイバ増幅器25と第2光ファイバ増幅器26との間に設けられる。第1光アイソレータ23および第2光アイソレータ24は、順方向に進むパルス光のみを透過させ、逆方向に進む光を遮断する。

[0034] 第1光ファイバ増幅器25は、正常分散のエルビウム添加光ファイバ増幅器(EDFA)を用いて構成される。第1光ファイバ増幅器25は、正常分散のイッテルビウム添加光ファイバ増幅器(Ytterbium Doped Fiber Amplifier: YDFA)を用いて構成されてもよい。第1光ファイバ増幅器25には、第1ポンプLD(レーザダイオード)27が設けられる。第1ポンプLD27は、励起光(ポンプ光とも称される)を第1光ファイバ増幅器25に

入射させる。第1光ファイバ増幅器25は、第1ポンプLD27から入射する励起光を利用して、オシレータ22から発生したパルス光を増幅する。第1ポンプLD27の励起電流を変えることで、第1光ファイバ増幅器25の増幅率（すなわち出力）を変更することが可能である。第1光ファイバ増幅器25は、第2光ファイバ増幅器26よりも長尺で、コア径が小さい光ファイバ増幅器である。これにより、分散、非線形性が相対的に大きい第1光ファイバ増幅器25によって、パルス光のチャープの特性（GDD）を決める。

[0035] 第2光ファイバ増幅器26は、エルビウム添加光ファイバ増幅器（EDFA）を用いて構成される。第2光ファイバ増幅器26は、イッテルビウム添加光ファイバ増幅器（YDFA）を用いて構成されてもよい。第2光ファイバ増幅器26には、第2ポンプLD（レーザダイオード）28が設けられる。第2ポンプLD28は、励起光（ポンプ光とも称される）を第2光ファイバ増幅器26に入射させる。第2光ファイバ増幅器26は、第2ポンプLD28から入射する励起光を利用して、第1光ファイバ増幅器25から出力されたパルス光を増幅する。第2ポンプLD28の励起電流を変えることで、第2光ファイバ増幅器26の増幅率（すなわち出力）を変更することが可能である。第2光ファイバ増幅器26は、第1光ファイバ増幅器25よりも短尺で、コア径が大きい光ファイバ増幅器である。これにより、分散、非線形性が相対的に小さい第2光ファイバ増幅器26によって、出力（パルス光のパルスエネルギー）を決める。

[0036] 増幅器として、分散、非線形性が相対的に大きい第1光ファイバ増幅器25と、分散、非線形性が相対的に小さい第2光ファイバ増幅器26とを用いることで、増幅器（第1光ファイバ増幅器25および第2光ファイバ増幅器26）から出力されるパルス光のチャープの量（GDD）を変化させつつ、パルス光のパルスエネルギーの変動を小さくすることができる。なお、第2光ファイバ増幅器26に代えて、第2増幅器として固体アンプが設けられてもよい。さらに大きなパルスエネルギーが必要な場合には、第2増幅器の後

に第3増幅器を設けてもよい。また、パルス光のチャープの量（GDD）の変化に伴うパルスエネルギーの変動を許容できる場合には、第2光ファイバ増幅器26を省略してもよい。その場合、以降の説明において、第2光ファイバ増幅器26の出力を第1光ファイバ増幅器25の出力と読み替えればよい。

[0037] コリメータレンズ29は、第2光ファイバ増幅器26から出力されたパルス光を平行にする。圧縮器31は、第2光ファイバ増幅器26から出力されてコリメータレンズ29を透過したパルス光のパルス時間幅を圧縮し、フーリエ限界パルスであるパルス光PLを射出する。

[0038] 例えば図7および図8に示すように、圧縮器31は、出力用ミラー32と、第1回折格子33と第2回折格子34との回折格子対と、ルーフミラー35とを有する。コリメータレンズ29を透過したパルス光は、出力用ミラー32から光軸と垂直な-y方向に離れた位置を通過する。出力用ミラー32を通過したパルス光は、第1回折格子33と第2回折格子34により空間的に分散する。第1回折格子33と第2回折格子34で分散したパルス光は、ルーフミラー35で反射し、第2回折格子34と第1回折格子33の順に戻る。第2回折格子34と第1回折格子33の順に戻ったパルス光は、ルーフミラー35により+y方向にオフセットしているため、出力用ミラー32で反射して外部（第1ミラー11）に射出される。このような圧縮器31は、負の分散（ $GDD < 0$ ）を有しているが、第1回折格子33と第2回折格子34との間隔を変えることで、圧縮器31の分散を変化させることができる。

[0039] 図9に、図6に示す2段構成の増幅器（第1光ファイバ増幅器25および第2光ファイバ増幅器26）から出力されるパルス光のパルス時間幅の圧縮特性を示す。図9に示すグラフの横軸は、第1光ファイバ増幅器25および第2光ファイバ増幅器26の後に配置された回折格子対を有する圧縮器31の分散量（ $p s^2 = 10^6 f s^2$ ）、縦軸はパルス光のパルス時間幅（ $f s$ ）を示す。図9に示すグラフの▲印は、第1光ファイバ増幅器25における第1ポ

ンプLD27の励起電流が600mAの場合の圧縮特性を示す。図9に示すグラフの■印は、第1光ファイバ増幅器25における第1ポンプLD27の励起電流が1000mAの場合の圧縮特性を示す。なお、第1光ファイバ増幅器25における第1ポンプLD27の励起電流が600mA、1000mAいずれの場合も、第2光ファイバ増幅器26における第2ポンプLD28の励起電流は一定である。第1光ファイバ増幅器25における第1ポンプLD27の励起電流が600mAのとき、最小のパルス時間幅を得るための圧縮器31の分散量は -0.163 ps^2 、すなわちパルス光のチャープの量(GDD)は $+0.163\text{ ps}^2$ であった。第1光ファイバ増幅器25における第1ポンプLD27の励起電流が1000mAのとき、最小のパルス時間幅を得るための圧縮器31の分散量は -0.148 ps^2 、すなわちパルス光のチャープの量(GDD)は $+0.148\text{ ps}^2$ であった。これにより、第1光ファイバ増幅器25における第1ポンプLD27の励起電流を600mA~1000mAの範囲で変化させることで、2段構成の増幅器(第1光ファイバ増幅器25および第2光ファイバ増幅器26)から出力されるパルス光のチャープの量(GDD)を $0.015\text{ ps}^2=15000\text{ fs}^2$ だけ変化させることが可能であることが分かる。

[0040] また、第1光ファイバ増幅器25における第1ポンプLD27の励起電流が600mAのとき、第2光ファイバ増幅器26の出力が477mWであった。第1光ファイバ増幅器25における第1ポンプLD27の励起電流が1000mAのとき、第2光ファイバ増幅器26の出力が537mWであった。この実験では、第2光ファイバ増幅器26における第2ポンプLD28の励起電流を一定としているので、第2光ファイバ増幅器26の出力は若干変動しているが、第2ポンプLD28の励起電流を調整することにより、第2光ファイバ増幅器26の出力を一定の範囲に保つことも可能である。また、第1光ファイバ増幅器25における第1ポンプLD27の励起電流が600mA、1000mAいずれの場合でも、パルス光の最小のパルス時間幅がほぼ同じ($\sim 115\text{ fs}$)である。以上より、図6に示す2段構成の増幅器(

第1光ファイバ増幅器25および第2光ファイバ増幅器26)によれば、パルス光のパルスエネルギーおよび、圧縮後の最小のパルス時間幅を略一定に保ちつつ、パルス光のチャープの量(GDD)のみを変化させることが可能である。

[0041] なお、図6に示す2段構成の増幅器(第1光ファイバ増幅器25および第2光ファイバ増幅器26)の例では、 $\Delta GDD \sim 15000 \text{ fs}^2$ 、 $\Omega \sim 0.02 \text{ rad/fs}$ ($\sim 115 \text{ fs}$ のパルス光に対応)であるため、前述の式(3)より、 $\Delta z \sim 3 \times z_R$ となる。 z_R は、前述の式(2)で述べたように、回折格子12の分散(または、線密度、入射角)、コリメータレンズ13の焦点距離 f_c 等によって決まる係数 α や、対物レンズ17の焦点距離 f 等を用いて設定される。仮に $z_R = 10 \mu\text{m}$ に設定すると、時間フォーカスが生じる z 方向の位置の変化 Δz は $30 \mu\text{m}$ となる。すなわち上記の例では、第1ポンプLD27の励起電流を 600 mA と 1000 mA との間で変調することにより、時間フォーカスが生じる位置を光軸方向(z 方向)に $30 \mu\text{m}$ 変化させて走査することが可能となる。

[0042] 第1光ファイバ増幅器25および第2光ファイバ増幅器26がエルビウム添加光ファイバ増幅器(EDFA)またはイッテルビウム添加光ファイバ増幅器(YDFA)である場合、コア径や励起状態によっても異なるが、第1ポンプLD27および第2ポンプLD28の励起光(ポンプ光)の変調に対する利得の応答(すなわち、励起電流の変調に対する利得の応答)は、 $\sim 10 \text{ kHz}$ まで存在することが多い。つまり、 $\sim 10 \text{ kHz}$ の高速で、第1光ファイバ増幅器25および第2光ファイバ増幅器26の利得を変化させることが可能である。上述の実験結果に基づけば、パルス光のチャープの量(GDD)を $\sim 10 \text{ kHz}$ 程度で変化させることが可能であることを意味する。この方法によれば、プリズムの位置を変更する等の機械的な方法と比較して、パルス光のチャープの量(GDD)を簡易で高速に変化させることが可能である。このように、第1ポンプLD27および第2ポンプLD28の励起電流を高速に変調させることで、第1光ファイバ増幅器25および第2光フ

ファイバ増幅器 26 の利得（増幅率）を高速に変化させることが可能であるため、パルス光のチャープの量（GDD）を高速に変化させることができ、時間フォーカスが生じる位置を高速に変化させて光軸方向（z方向）の走査を高速に行うことが可能である。

[0043] 次に、以上のように構成される光加工装置 1 の光学装置 10 を用いた、パルス光による走査方法について説明する。図 10 は、パルス光による走査方法の流れを示すフローチャートである。まず、光源ユニット 20 のオシレータ 22 によりパルス光を発生させる（ステップ ST1）。このとき、オシレータ 22 は、フーリエ限界パルスであるパルス光を発生させる。

[0044] 次に、第 1 光ファイバ増幅器 25 および第 2 光ファイバ増幅器 26 によりパルス光を増幅する（ステップ ST2）。オシレータ 22 から発生したパルス光は、第 1 光アイソレータ 23 を透過し、第 1 光ファイバ増幅器 25 に入射する。第 1 光ファイバ増幅器 25 は、オシレータ 22 から発生したパルス光を増幅する。第 1 光ファイバ増幅器 25 から出力されたパルス光は、第 2 光アイソレータ 24 を透過し、第 2 光ファイバ増幅器 26 に入射する。第 2 光ファイバ増幅器 26 は、第 1 光ファイバ増幅器 25 から出力されたパルス光を増幅する。第 2 光ファイバ増幅器 26 から出力されたパルス光は、コリメータレンズ 29 を透過して平行になり、圧縮器 31 に入射する。圧縮器 31 は、コリメータレンズ 29 を透過したパルス光のパルス時間幅を圧縮し、フーリエ限界パルスであるパルス光 PL を射出する。

[0045] 次に、回折格子 12 によりパルス光を分散させる（ステップ ST3）。光源ユニット 20 の圧縮器 31 から射出されたパルス光 PL は、第 1 ミラー 11 で反射して回折格子 12 に入射する。回折格子 12 は、第 1 ミラー 11 で反射したパルス光 PL を回折現象により分散させる。回折格子 12 において分散したパルス光 PL は、コリメータレンズ 13 を透過して平行になり、第 2 ミラー 14 に入射する。このとき、回折格子 12 とコリメータレンズ 13 によって、時間フォーカスに必要な、パルス光 PL の空間的なチャープを発生させる。

[0046] 次に、対物レンズ17によりパルス光を集光する（ステップST4）。第2ミラー14で反射したパルス光PLは、ダイクロイックミラー15を透過して対物レンズ17に入射する。対物レンズ17は、ダイクロイックミラー15を透過したパルス光PLをワークWに対して集光する。このとき、時間フォーカスの効果によりパルス光PLのパルス時間幅が縮小し、ワークWの被加工面において回折格子12に入射する際の元のパルス時間幅が再現される。例えば、パルス光PLの集光半径wを50 μ m程度にしたとしても、時間フォーカスの効果により、光加工装置1の光軸方向（z方向）における分解能を高くすることができ、ワークWに対して除去加工等の微細加工を行うことが可能になる。また、ワークWの材料が透明の樹脂やガラスである場合、時間フォーカスの効果により、ワークWの内部に対して微細加工を行うことが可能になる。なお、上述したように、対物レンズ17により集光されるパルス光PLのパルス時間幅は、時間フォーカスが生じることにより、回折格子12に入射する際のパルス光PLのパルス時間幅となる。このことは、対物レンズ17により集光されるパルス光PLのパルス時間幅が、回折格子12に入射する際のパルス光PLのパルス時間幅と（完全に）同じになるだけでなく、回折格子12に入射する際のパルス光PLのパルス時間幅と略同じになる場合も含む。

[0047] そして、時間フォーカスが生じる位置を対物レンズ17の光軸方向に変化させて走査を行う（ステップST5）。このとき、第1ポンプLD27および第2ポンプLD28の励起電流を変調させることで、第1光ファイバ増幅器25および第2光ファイバ増幅器26の増幅率を変化させる。これにより、パルス光PLのチャープの量（GDD）を変化させ、時間フォーカスが生じる位置を対物レンズ17の光軸方向に変化させて光軸方向（z方向）の走査を行う。なお、ワークWに対して光学装置10からのパルス光PLが連続的に照射される状態では、上述したパルス光を発生させるステップ（ST1）、パルス光を増幅するステップ（ST2）、パルス光を分散させるステップ（ST3）、パルス光を集光するステップ（ST4）、および走査を行うス

トップ（ST5）は、それぞれ並行して行われる。

[0048] 第1実施形態によれば、光加工装置1の光学装置10が、パルス光を増幅する第1光ファイバ増幅器25および第2光ファイバ増幅器26と、パルス光を分散させる回折格子12と、回折格子12において分散したパルス光を集光する対物レンズ17とを有し、第1光ファイバ増幅器25および第2光ファイバ増幅器26の増幅率をそれぞれ独立に変更することが可能である。なお、対物レンズ17により集光されるパルス光のパルス時間幅は、時間フォーカスが生じることにより、回折格子12に入射する際のパルス光のパルス時間幅となる。前述したように、第1ポンプLD27の励起電流を高速に変調させることで、第1光ファイバ増幅器25の増幅率を高速に変化させることが可能であるため、パルス光のチャープの量（GDD）を高速に変化させることができ、時間フォーカスが生じる位置（z方向の位置）を高速に変化させて光軸方向の走査を高速に行うことが可能になる。また、時間フォーカスの効果により、光加工装置1の光軸方向（z方向）における分解能が高くなるため、時間フォーカスが生じる位置（z方向の位置）を高速に変化させることで、ワークWに対して除去加工等の微細加工を高速に行うことが可能になる。また、第2ポンプLD28の励起電流を適切に制御することで第2光ファイバ増幅器26の増幅率を調整し、パルス光のチャープの量（GDD）を変化させつつ、パルス光の出力の変化を一定の範囲内に抑えることが可能になる。

[0049] また、第2光ファイバ増幅器26の入力側もしくは出力側に音響光学素子（AOM）等の光量調整器を設置してパルス光のパルスエネルギーを制御してもよい。これにより、パルス光のチャープの量（GDD）を変化させつつ、パルス光のパルスエネルギーの変動を小さくすることができる。

[0050] また、第2光ファイバ増幅器26から出力されたパルス光のパルス時間幅を圧縮する圧縮器31が設けられてもよい。これにより、フーリエ限界パルスであるパルス光を得ることができる。

[0051] 上述の第1実施形態において、オシレータ22が設けられているが、これ

に限られるものではない。例えば、オシレータ 22 を設けずに、第 1 光ファイバ増幅器 25 が、光加工装置 1 の外部に設けられたパルス光発生器からのパルス光を増幅するようにしてもよい。この場合、上述したパルス光を発生させるステップ (S T 1) を省略することができる。

[0052] 上述の第 1 実施形態において、パルス光を回折現象により分散させる回折格子 12 が設けられているが、これに限られるものではない。パルス光を分散させる分散素子として、回折格子 12 の代わりにプリズム等が設けられてもよい。なお、分散素子によりパルス光を分散させることは、パルス光の波長に応じてパルス光の光路を空間的に分離することを意味する。

[0053] 上述の第 1 実施形態において、第 1 ポンプ LD 27 および第 2 ポンプ LD 28 の励起電流を変調させることにより、第 1 光ファイバ増幅器 25 および第 2 光ファイバ増幅器 26 の増幅率を変更しているが、これに限られるものではない。例えば、第 1 光ファイバ増幅器 25 の入力側に設けた音響光学素子 (A O M) 等により入力パルス光の光量を制御することで、第 1 光ファイバ増幅器 25 の増幅率を実効的に変更し、パルス光のチャープの量 (G D D) を変化させてもよい。また、第 2 光ファイバ増幅器 26 の入力側、あるいは出力側に設けた音響光学素子 (A O M) 等によりパルス光の光量を制御することで、第 2 光ファイバ増幅器 26 の増幅率を実効的に変更し、第 2 光ファイバ増幅器 26 の出力を一定の範囲に保つようにしてもよい。

[0054] 上述の第 1 実施形態において、光源ユニット 20 は、2 段構成の増幅器 (第 1 光ファイバ増幅器 25 および第 2 光ファイバ増幅器 26) を有しているが、これに限られるものではなく、増幅器を 1 つだけ有してもよい。例えば図 11 に示すように、光源ユニット 70 が、オシレータ 22 と、光アイソレータ 73 と、光ファイバ増幅器 75 と、コリメータレンズ 29 と、圧縮器 31 とを有してもよい。なお、光アイソレータ 73 は、第 1 実施形態に係る第 1 光アイソレータ 23 と同様に構成される。光ファイバ増幅器 75 は、第 1 実施形態に係る第 1 光ファイバ増幅器 25 と同様に構成される。また、コリメータレンズ 29 は、光ファイバ増幅器 75 から出力されたパルス光を平行

にする。光ファイバ増幅器 75 には、ポンプ LD 77 が設けられる。ポンプ LD 77 は、第 1 実施形態に係る第 1 ポンプ LD 27 と同様に構成され、ポンプ LD 77 の励起電流を変えることで、光ファイバ増幅器 75 の増幅率（すなわち出力）を変更することが可能である。また、オシレータ 22 を設けずに、光ファイバ増幅器 75 が、光加工装置の外部に設けられたパルス光発生器からのパルス光を増幅するようにしてもよい。

[0055] 上述の第 1 実施形態において、圧縮器 31 が回折格子対（グレーティングペア）を用いて構成されているが、これに限られるものではなく、プリズムペアを用いて構成されてもよい。例えば図 12 に示すように、圧縮器 131 が、出力用ミラー 32 と、第 1 プリズム 133 と第 2 プリズム 134 とのプリズムペアと、ルーフミラー 35 とを有してもよい。コリメータレンズ 29 を透過したパルス光は、出力用ミラー 32 から光軸と垂直な $-y$ 方向に離れた位置を通過する。出力用ミラー 32 を通過したパルス光は、第 1 プリズム 133 と第 2 プリズム 134 により空間的に分散する。第 1 プリズム 133 と第 2 プリズム 134 で分散したパルス光は、ルーフミラー 35 で反射し、第 2 プリズム 134 と第 1 プリズム 133 の順に戻る。第 2 プリズム 134 と第 1 プリズム 133 の順に戻ったパルス光は、ルーフミラー 35 により $+y$ 方向にオフセットしているため、出力用ミラー 32 で反射して外部（第 1 ミラー 11）に射出される。このような圧縮器 131 は、負の分散（ $GDD < 0$ ）を有しているが、第 1 プリズム 133 と第 2 プリズム 134 との間隔を変えることで、圧縮器 131 の分散を変化させることができる。

[0056] 上述の第 1 実施形態において、圧縮器 31 が光源ユニット 20 に設けられているが、これに限られるものではなく、圧縮器が光源ユニットに設けられていなくてもよい。例えば図 13 に示すように、変形例に係る光学装置 110 は、光源ユニット 120 と、第 1 回折格子 111 と第 2 回折格子 112 との回折格子対と、ミラー 114 と、対物レンズ 117 とを有する。光源ユニット 120 は、オシレータ 122 と、光アイソレータ 123 と、光ファイバ増幅器 125 と、コリメータレンズ 129 とを有する。

- [0057] オシレータ122は、モードロックファイバレーザを利用して構成される。オシレータ122は、パルス時間幅が100fs~1ps程度のフーリエ限界パルスであるパルス光を発生させる。光アイソレータ123は、オシレータ122と光ファイバ増幅器125との間に設けられる。光アイソレータ123は、順方向に進むパルス光のみを透過させ、逆方向に進む光を遮断する。
- [0058] 光ファイバ増幅器125は、正常分散のエルビウム添加光ファイバ増幅器(EDFA)を用いて構成される。光ファイバ増幅器125は、正常分散のイッテルビウム添加光ファイバ増幅器(YDFA)を用いて構成されてもよい。光ファイバ増幅器125には、ポンプLD(レーザダイオード)127が設けられる。ポンプLD127は、励起光(ポンプ光)を光ファイバ増幅器125に入射させる。光ファイバ増幅器125は、ポンプLD127から入射する励起光を利用して、オシレータ122から発生したパルス光を増幅する。ポンプLD127の励起電流を変えることで、光ファイバ増幅器125の増幅率(すなわち出力)を変更することが可能である。コリメータレンズ129は、光ファイバ増幅器125から出力されたパルス光を平行にする。なお、光ファイバ増幅器は、前述の第1実施形態に係る2段構成の増幅器(第1光ファイバ増幅器25および第2光ファイバ増幅器26)であってもよい。また、オシレータ122を設けずに、光ファイバ増幅器が、光加工装置の外部に設けられたパルス光発生器からのパルス光を増幅するようにしてもよい。
- [0059] 光源ユニット120は、光ファイバ増幅器125を介して、正のチャープを有するパルス光PLを射出する。光源ユニット120から射出されたパルス光PLのGDDを D_p とすると、 $D_p > 0$ である。光源ユニット120から射出されたパルス光PLは、第1回折格子111と第2回折格子112により空間的に分散する。第1回折格子111と第2回折格子112との回折格子対における分散を D_g とする。このとき、 $D_g = -D_p$ となるように、第1回折格子111と第2回折格子112との間隔を調整する。第1回折格

子111と第2回折格子112との回折格子対を通過したパルス光PLには、空間的なチャープ (spatial chirp) が発生する。当該回折格子対を通過したパルス光PLは、空間的に周波数成分が分離しているので、パルス光PLのGDDが0 (すなわち、 $D_p + D_g = 0$) であるものの、フーリエ限界パルスのパルス時間幅とはならない。通常回折格子対を有する圧縮器では、パルス光が回折格子対を2回通過(double pass)するので、空間的なチャープが発生せず、フーリエ限界パルスのパルス時間幅が得られる。

[0060] 第1回折格子111と第2回折格子112との回折格子対を通過したパルス光PLは、ミラー114で反射され、対物レンズ117によりワークWに対して集光される。なお、ミラー114と対物レンズ117との間に、上述の第1実施形態に係るダイクロイックミラー (図示せず) が設けられてもよい。回折格子対 (第1回折格子111と第2回折格子112) を通過して空間的なチャープが発生したパルス光PLを対物レンズ117により集光することで、時間フォーカスの効果が得られる。つまり、対物レンズ117を透過した直後のパルス光PLのパルス時間幅が最大で、ワークW (対物レンズ117の焦点面) に近づくにつれてパルス光PLのパルス時間幅が小さくなり、ワークWの被加工面 (対物レンズ117の焦点面) においてパルス光PLのパルス時間幅が最小となる。

[0061] 変形例に係る光学装置110では、第1回折格子111と第2回折格子112との回折格子対が、光源ユニット120から射出されたパルス光PLのGDDを取り除くのと同時に、光源ユニット120から射出されたパルス光PLに時間フォーカスに必要な空間的なチャープを与えている、ともいえる。これにより、上述の第1実施形態と同様に、ポンプLD127の励起電流を高速に変調させることで、ファイバ増幅器125の増幅率を高速に変化させることが可能であるため、パルス光のチャープの量 (GDD) を高速に変化させることができ、時間フォーカスが生じる位置 (z方向の位置) を高速に変化させることが可能になる。また、時間フォーカスの効果により、光加工装置の光軸方向 (z方向) における分解能が高くなるため、時間フォーカ

スが生じる位置（z方向の位置）を高速に変化させることで、ワークWに対して除去加工等の微細加工を高分解能かつ高速に行うことが可能になる。

[0062] 図14に、変形例に係る光学装置110の光ファイバ増幅器125から出力されるパルス光のパルス時間幅の圧縮特性を示す。図14に示すグラフの横軸は、光ファイバ増幅器125の後に配置された回折格子対（第1回折格子111と第2回折格子112）の圧縮器としての分散量（ $f s^2$ ）、縦軸はパルス光のパルス時間幅（ $f s$ ）を示す。但し、図14の圧縮特性を実験的に取得した際には、圧縮器をダブルパスの構成としている。図14に示すグラフの◆印は、光ファイバ増幅器125におけるポンプLD127の励起電流が1.0Aの場合の圧縮特性を示す。図14に示すグラフの■印は、光ファイバ増幅器125におけるポンプLD127の励起電流が2.8Aの場合の圧縮特性を示す。図14に示すグラフの▲印は、光ファイバ増幅器125におけるポンプLD127の励起電流が5.0Aの場合の圧縮特性を示す。

[0063] 光ファイバ増幅器125におけるポンプLD127の励起電流が1.0Aのとき、光ファイバ増幅器125の出力が122mWであった。光ファイバ増幅器125におけるポンプLD127の励起電流が2.8Aのとき、光ファイバ増幅器125の出力が918mWであった。光ファイバ増幅器125におけるポンプLD127の励起電流が5.0Aのとき、光ファイバ増幅器125の出力が1970mWであった。図14から分かるように、光ファイバ増幅器125の出力を100mW~2000mWの範囲で変化させることで、光ファイバ増幅器125から出力されるパルス光のチャープの量（GDD）を約48000 $f s^2$ だけ変化させることが可能である。また、光ファイバ増幅器125におけるポンプLD127の励起電流が1.0A、2.8A、5.0Aいずれの場合でも、パルス光の最小のパルス時間幅がほぼ同じ（~90 $f s$ ）である。以上より、図13に示す変形例によれば、パルス光の圧縮後の最小のパルス時間幅を略一定に保ちつつ、パルス光のチャープの量（GDD）を変化させることが可能である。

[0064] なお、変形例に係る光学装置110では、 $\Delta GDD \sim 48000 f s^2$ 、 Ω

～0.026 rad/fs (～90 fsのパルス光に対応) であるため、前述の式(3)より、 $\Delta z \sim 16 \times z_R$ となる。上述の第1実施形態と同様に、仮に $z_R = 10 \mu\text{m}$ に設定すると、時間フォーカスが生じるz方向の位置の変化 Δz は160 μm となる。

[0065] 次に、本願の第2実施形態に係る顕微鏡装置について図15を参照して説明する。図15に示すように、第2実施形態に係る顕微鏡装置201は、ステージ205と、光学装置210と、検出ユニット260とを有する。顕微鏡装置201は、2光子励起蛍光顕微鏡または多光子励起蛍光顕微鏡とも称される。ステージ205の上面に、試料SAが載置される。試料SAは、例えば、細胞であってもよい。

[0066] 検出ユニット260は、集光レンズ261と、検出部262とを有する。さらに、検出ユニット260は、光学装置210のダイクロイックミラー215と、ガルバノミラー216, 216と、対物レンズ217とを含む。集光レンズ261は、ダイクロイックミラー215で反射した試料SAからの蛍光を集光する。検出部262は、光電子増倍管 (photomultiplier tube : PMT) やフォトダイオード (PD) 等を用いて構成される。検出部262は、集光レンズ261により集光された試料SAからの蛍光を検出し、検出信号を出力する。検出部262で検出された検出信号に基づいて、不図示の画像処理部によって画像処理が行われ、画像処理部での画像処理により得られた試料SAの画像が不図示の表示装置に表示される。

[0067] 次に、第2実施形態に係る光学装置210について説明する。光学装置210は、試料SAに対して励起光であるパルス光を集光する。パルス光のパルス時間幅は、例えば、フェムト秒 (fs) オーダーの時間幅である。図15に示すように、光学装置210は、光源ユニット20と、第1ミラー11と、回折格子12と、コリメータレンズ13と、第2ミラー14と、ダイクロイックミラー215と、ガルバノミラー216, 216と、対物レンズ217とを有する。光源ユニット20、第1ミラー11、回折格子12、コリメータレンズ13、および第2ミラー14は、第1実施形態に係る光源ユニ

ット20、第1ミラー11、回折格子12、コリメータレンズ13、および第2ミラー14と同様の構成であり、第1実施形態と同一の符号を付して詳細な説明を省略する。

[0068] ダイクロイックミラー215は、ダイクロイックミラー215に入射したパルス光PLをガルバノミラー216、216に向けて透過させる。また、ダイクロイックミラー215は、対物レンズ217およびガルバノミラー216、216を介してダイクロイックミラー215に入射した試料SAからの蛍光を、検出ユニット260（集光レンズ261）に向けて反射させる。

[0069] ガルバノミラー216、216は、ダイクロイックミラー215を透過したパルス光PLを対物レンズ217に向けて反射させる。また、ガルバノミラー216、216は、対物レンズ217を透過した試料SAからの蛍光をダイクロイックミラー215に向けて反射させる。ガルバノミラー216、216は、反射面の向きを変化させることにより、パルス光PLの進行方向を変化させることが可能である。ガルバノミラー216、216によりパルス光PLの進行方向を変化させることで、試料SAにおける対物レンズ217の光軸と垂直な平面（観察面）において走査を行うことが可能である。ガルバノミラー216、216は、対物レンズ217の瞳の位置または瞳と共役な位置に設けられることが望ましい。

[0070] 対物レンズ217は、ガルバノミラー216、216で反射したパルス光PLを試料SAに対して集光する。なお、回折格子12と、試料SA（観察面）と、検出部262とは互いに共役である。

[0071] 次に、以上のように構成される顕微鏡装置201の光学装置210を用いた、パルス光による走査方法について説明する。第2実施形態に係る走査方法は、第1実施形態で述べた走査方法と同様であるため、第1実施形態と同じ図10を参照しながら説明する。まず、第1実施形態と同様にしてパルス光を発生させる（ステップST1）。次に、第1実施形態と同様にしてパルス光を増幅する（ステップST2）。

[0072] 次に、回折格子12によりパルス光を分散させる（ステップST3）。第

2実施形態において、光源ユニット20は、励起光として例えば、 $1\mu\text{m}$ の波長帯域のパルス光PLを射出する。光源ユニット20から射出されたパルス光PLは、第1ミラー11で反射して回折格子12に入射する。回折格子12は、第1ミラー11で反射したパルス光PLを回折現象により分散させる。回折格子12において分散したパルス光PLは、コリメータレンズ13を透過して平行になり、第2ミラー14に入射する。このとき、回折格子12とコリメータレンズ13によって、時間フォーカスに必要な、パルス光PLの空間的なチャープを発生させる。

[0073] 次に、対物レンズ217によりパルス光を集光する（ステップST4）。第2ミラー14で反射したパルス光PLは、ダイクロイックミラー215を透過してガルバノミラー216、216で反射する。ガルバノミラー216、216で反射したパルス光PLは、対物レンズ217に入射する。対物レンズ217は、ガルバノミラー216、216で反射したパルス光PLを試料SAに対して集光する。なお、対物レンズ217により集光されるパルス光PLのパルス時間幅は、時間フォーカスが生じることにより、回折格子12に入射する際のパルス光PLのパルス時間幅となる。このことは、対物レンズ217により集光されるパルス光PLのパルス時間幅が、回折格子12に入射する際のパルス光PLのパルス時間幅と（完全に）同じになるだけでなく、回折格子12に入射する際のパルス光PLのパルス時間幅と略同じになる場合も含む。

[0074] そして、時間フォーカスが生じる位置を対物レンズ217の光軸方向に変化させて走査を行う（ステップST5）。このとき、第1ポンプLD27および第2ポンプLD28の励起電流を変調させることで、第1光ファイバ増幅器25および第2光ファイバ増幅器26の増幅率を変化させる。これにより、パルス光PLのチャープの量（GDD）を変化させ、時間フォーカスが生じる位置を対物レンズ217の光軸方向に変化させて光軸方向（z方向）の走査を行う。またこのとき、ガルバノミラー216、216によりパルス光PLの進行方向を変化させることで、対物レンズ217の光軸と垂直な方向

(XY方向)の走査を行う。なお、試料SAに対して光学装置210からのパルス光PLが連続的に照射される状態では、上述したパルス光を発生させるステップ(ST1)、パルス光を増幅するステップ(ST2)、パルス光を分散させるステップ(ST3)、パルス光を集光するステップ(ST4)、および走査を行うステップ(ST5)は、それぞれ並行して行われる。

[0075] 励起光であるパルス光PLの照射によって、試料SAに含まれる蛍光物質が2光子励起されて、励起光(パルス光PL)よりも短波長の蛍光が射出される。このとき、時間フォーカスの効果によりパルス光PLのパルス時間幅が縮小し、試料SAの観察面(対物レンズ217の焦点面)において回折格子12に入射する際の元のパルス時間幅が再現される。時間フォーカスの効果により、顕微鏡装置201の光軸方向(z方向)における分解能が高くなるため、対物レンズ217の焦点近傍における微小な領域でのみ、2光子励起が生じる。そのため、時間フォーカスが生じる位置(z方向の位置)を変化させることで光軸方向(z方向)の走査を行うことができ、ガルバノミラー216、216による光軸と垂直な方向の走査と組み合わせることにより、試料SAの3次元画像を生成することが可能になる。

[0076] なお、試料SAからの蛍光は、対物レンズ217に入射する。対物レンズ217を透過した蛍光は、ガルバノミラー216、216で反射し、ダイクロイックミラー215に入射する。ダイクロイックミラー215に入射した蛍光は、当該ダイクロイックミラー215で反射し、集光レンズ261に入射する。集光レンズ261を透過した蛍光は、検出部262に集光される。なお、回折格子12と、試料SA(観察面)と、検出部262とは互いに共役である。そのため、励起光であるパルス光PLが対物レンズ217によって試料SAの観察面に集光するように構成されることで、2光子励起により発生した蛍光のうち、対物レンズ217を通過する蛍光を漏れなく検出部262に到達させることが可能である。

[0077] 第2実施形態によれば、顕微鏡装置201の光学装置210が、パルス光を増幅する第1光ファイバ増幅器25および第2光ファイバ増幅器26と、

パルス光を分散させる回折格子12と、回折格子12において分散したパルス光を集光する対物レンズ217とを有し、第1光ファイバ増幅器25および第2光ファイバ増幅器26の増幅率を変更することが可能である。なお、対物レンズ217により集光されるパルス光のパルス時間幅は、時間フォーカスが生じることにより、回折格子12に入射する際のパルス光のパルス時間幅となる。第1実施形態と同様に、第1ポンプLD27の励起電流を高速に変調させることで、第1光ファイバ増幅器25の増幅率を高速に変化させることが可能であるため、パルス光のチャープの量(GDD)を高速に変化させることができ、時間フォーカスが生じる位置(z方向の位置)を高速に変化させることが可能になる。また、時間フォーカスの効果により、パルス光の集光半径を5~10 μ m程度にしても、顕微鏡装置201の光軸方向(z方向)における分解能が高くなるため、時間フォーカスが生じる位置(z方向の位置)を高速に変化させることで、光軸方向(z方向)の走査を高速に行うことができる。そのため、ガルバノミラー216、216による光軸と垂直な方向の走査と組み合わせることにより、試料SAの3次元画像を高速に生成することが可能になる。

[0078] また、第1実施形態と同様に、第2ポンプLD28の励起電流を制御することにより第2光ファイバ増幅器26の増幅率を調整することで、第2光ファイバ増幅器26から出力されるパルス光の出力を一定の範囲内にしてもよい。あるいは、第2光ファイバ増幅器26の入力側もしくは出力側に音響光学素子(AOM)等の光量調整器を設置してパルス光のパルスエネルギーを制御してもよい。これにより、パルス光のチャープの量(GDD)を変化させつつ、パルス光のパルスエネルギーの変動を小さくすることができる。

[0079] また、第1実施形態と同様に、第2光ファイバ増幅器26から出力されたパルス光のパルス時間幅を圧縮する圧縮器31が設けられてもよい。これにより、フーリエ限界パルスのパルス光を得ることができる。

[0080] 上述の第2実施形態において、第1実施形態と同様に、オシレータ22を設けずに、第1光ファイバ増幅器25が、顕微鏡装置201の外部に設けら

れたパルス光発生器からのパルス光を増幅するようにしてもよい。この場合、上述したパルス光を発生させるステップ（ST1）を省略することができる。

[0081] 上述の第2実施形態において、第1実施形態と同様に、パルス光を分散させる分散素子として、回折格子12の代わりにプリズム等が設けられてもよい。

[0082] 上述の第2実施形態において、第1実施形態と同様に、第1光ファイバ増幅器25の入力側に設けた音響光学素子（AOM）等により入力パルス光の光量を制御することで、第1光ファイバ増幅器25の増幅率を実効的に変更し、パルス光のチャープの量（GDD）を変化させてもよい。また、第2光ファイバ増幅器26の入力側、あるいは出力側に設けた音響光学素子（AOM）等によりパルス光の光量を制御することで、第2光ファイバ増幅器26の増幅率を実効的に変更し、第2光ファイバ増幅器26の出力を一定の範囲に保つようにしてもよい。

[0083] 上述の第2実施形態において、光源ユニット20は、第1実施形態と同様に、2段構成の増幅器（第1光ファイバ増幅器25および第2光ファイバ増幅器26）に限らず、増幅器を1つだけ有してもよい。

[0084] 上述の第2実施形態において、圧縮器31は、第1実施形態と同様に、回折格子対（グレーティングペア）に限らず、プリズムペアを用いて構成されてもよい。

[0085] 上述の第2実施形態において、第1実施形態と同様に、圧縮器31が光源ユニット20に設けられているが、これに限られるものではなく、圧縮器が光源ユニットに設けられていなくてもよい。例えば、顕微鏡装置201の光学装置が、第1実施形態の変形例に係る光学装置110と同様に構成されてもよい。

[0086] 上述の第2実施形態において、顕微鏡装置201の一例として、2光子励起蛍光顕微鏡（多光子励起蛍光顕微鏡）を例示して説明しているが、これに限られるものではなく、例えば、第2高調波発生（Second Harmonic Gener

請求の範囲

- [請求項1] パルス光を増幅する増幅器と、
前記増幅器から出力された前記パルス光を分散させる分散素子と、
前記分散素子において分散した前記パルス光を集光する対物レンズとを有し、
前記増幅器の増幅率を変更することが可能である光学装置。
- [請求項2] 前記分散素子において分散した前記パルス光を平行にするコリメータレンズを有し、
前記対物レンズは、前記コリメータレンズを透過した前記パルス光を集光し、
前記対物レンズにより集光される前記パルス光のパルス時間幅は、時間フォーカスが生じることにより、前記分散素子に入射する際の前記パルス光のパルス時間幅となる請求項1に記載の光学装置。
- [請求項3] 前記増幅器から出力された前記パルス光を増幅する第2の増幅器を有し、
前記分散素子は、前記第2の増幅器から出力された前記パルス光を分散させ、
前記第2の増幅器の増幅率を変更することが可能である請求項1または2に記載の光学装置。
- [請求項4] 前記増幅器の増幅率を変更することにより、時間フォーカスが生じる位置を前記対物レンズの光軸方向に変化させ、
前記第2の増幅器の増幅率を変更することにより、前記第2の増幅器から出力される前記パルス光の出力を一定の範囲内にする請求項3に記載の光学装置。
- [請求項5] 前記第2の増幅器から出力された前記パルス光のパルス時間幅を圧縮する圧縮器を有する請求項3または4に記載の光学装置。
- [請求項6] ワークに対して照射するパルス光を走査する光学装置を有し、
前記光学装置が請求項1～5のいずれか一項に記載の光学装置であ

る光加工装置。

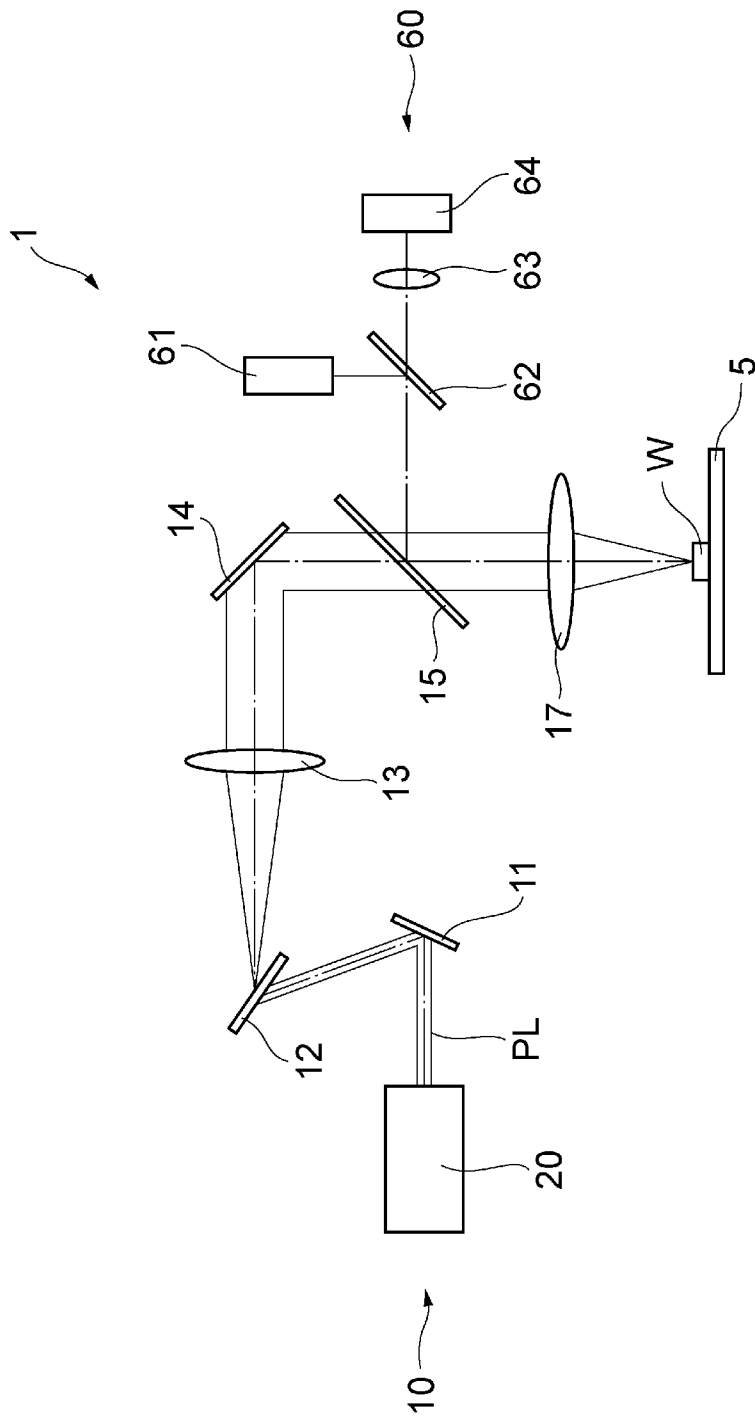
[請求項7]

試料に対して照射するパルス光を走査する光学装置を有し、
前記光学装置が請求項1～5のいずれか一項に記載の光学装置である顕微鏡装置。

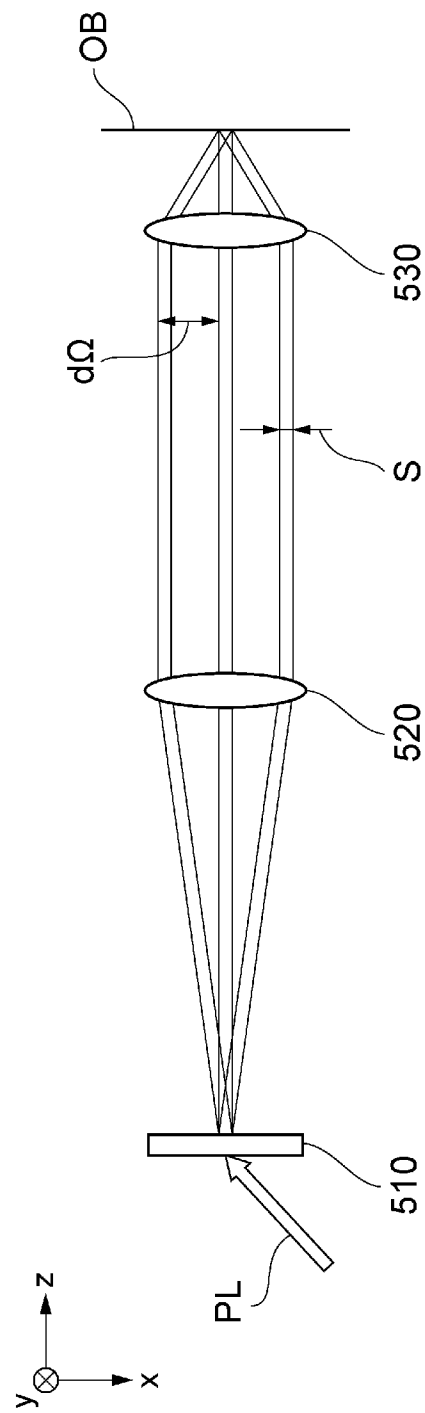
[請求項8]

増幅器を用いて、パルス光を増幅することと、
分散素子を用いて、前記増幅器から出力された前記パルス光を分散させることと、
対物レンズを用いて、前記分散素子において分散した前記パルス光を集光することと、
前記増幅器の増幅率を変更することにより、前記対物レンズを用いて集光される前記パルス光の時間フォーカスが生じる位置を前記対物レンズの光軸方向に変化させて走査することを含む走査方法。

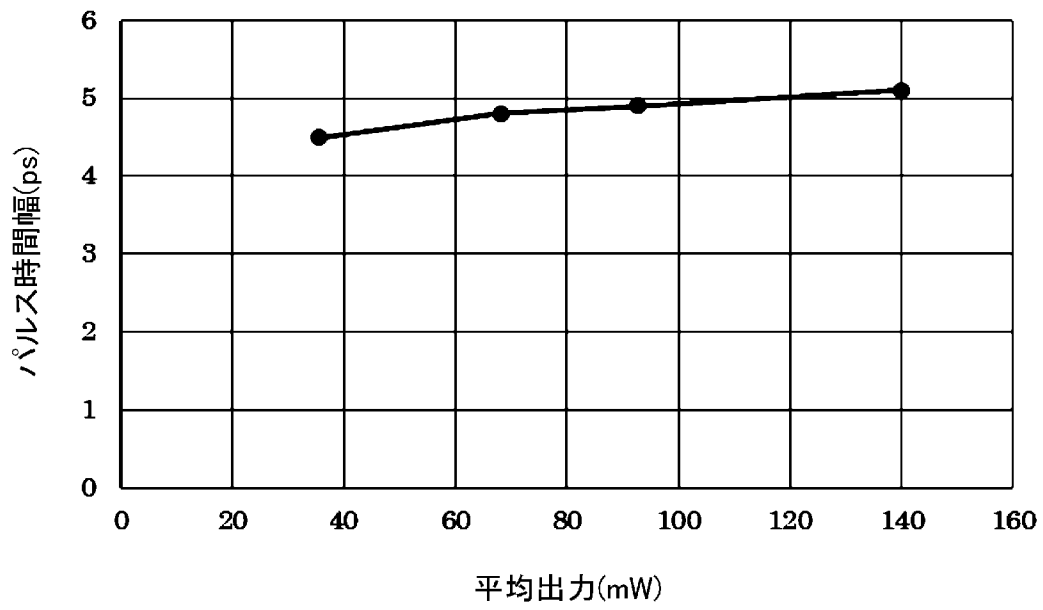
[図1]



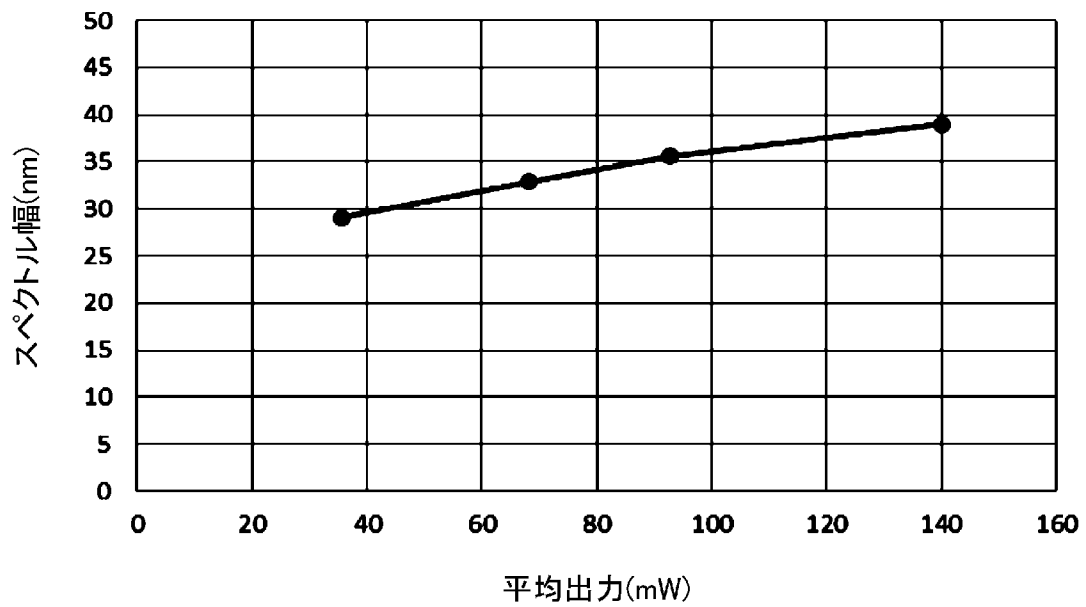
[図2]



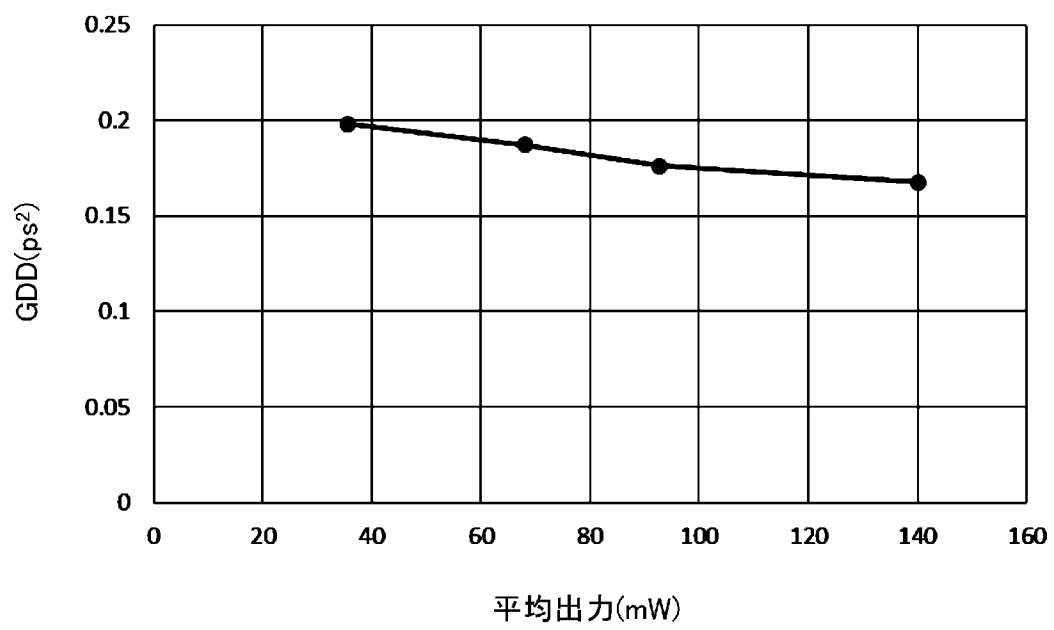
[図3]



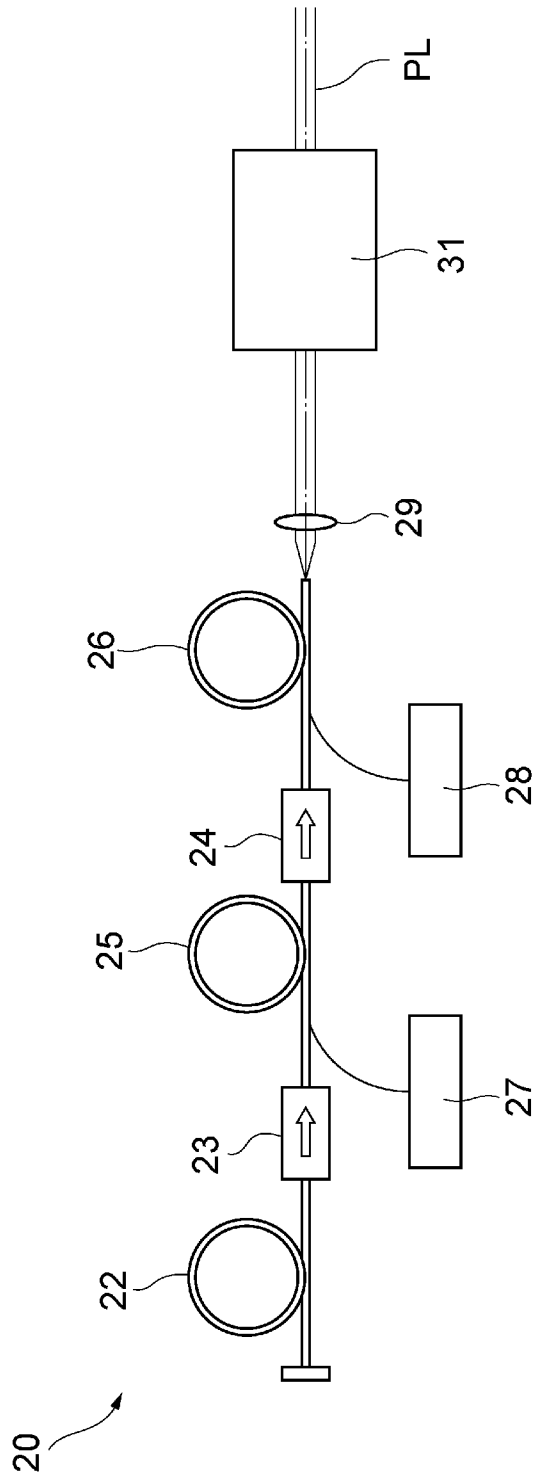
[図4]



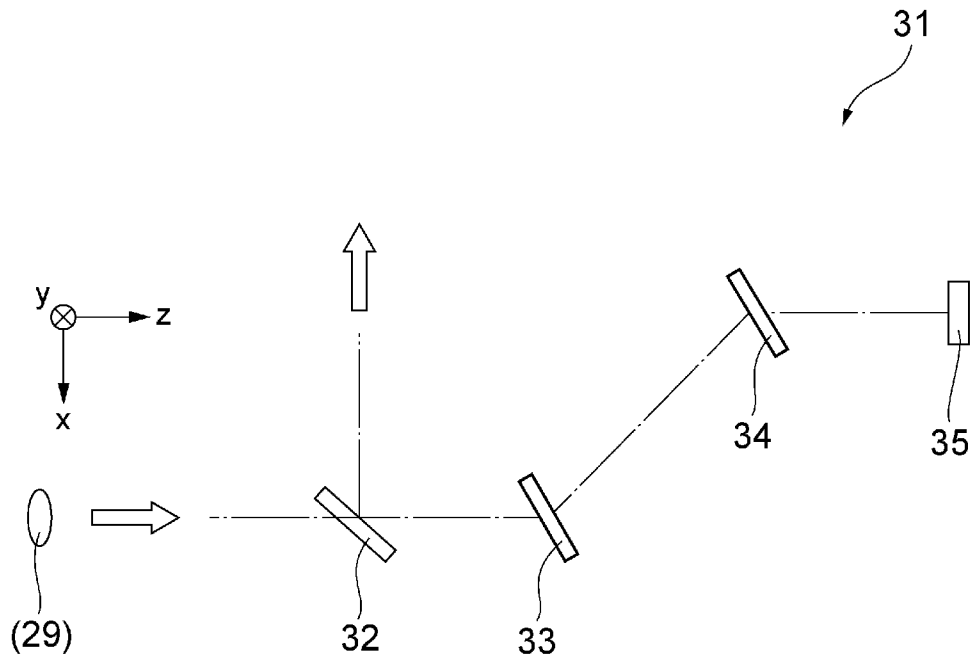
[図5]



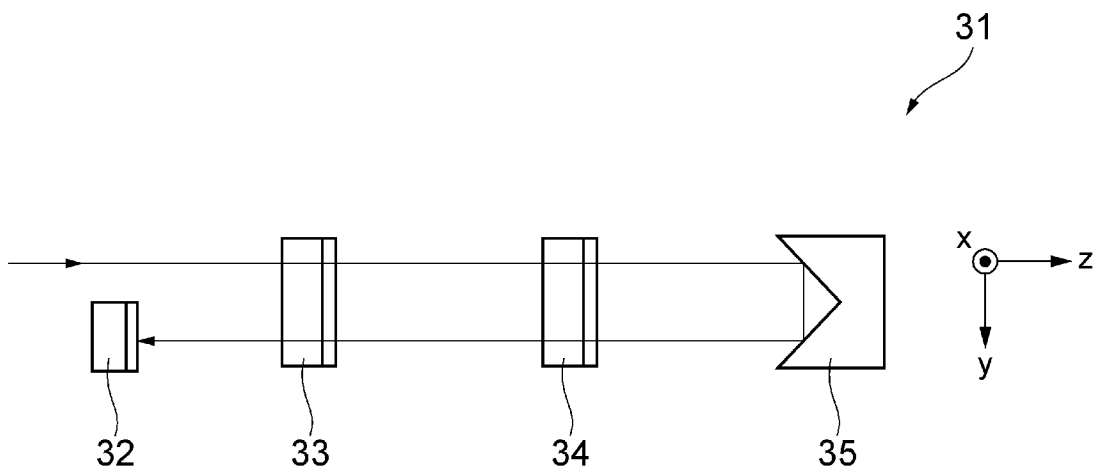
[図6]



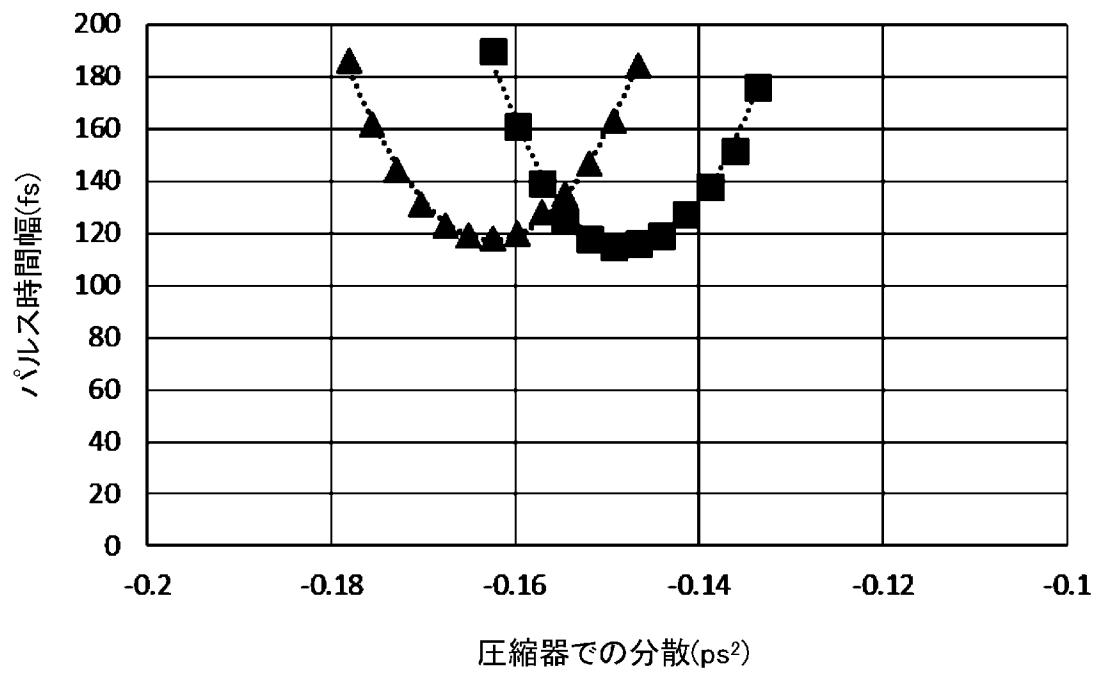
[図7]



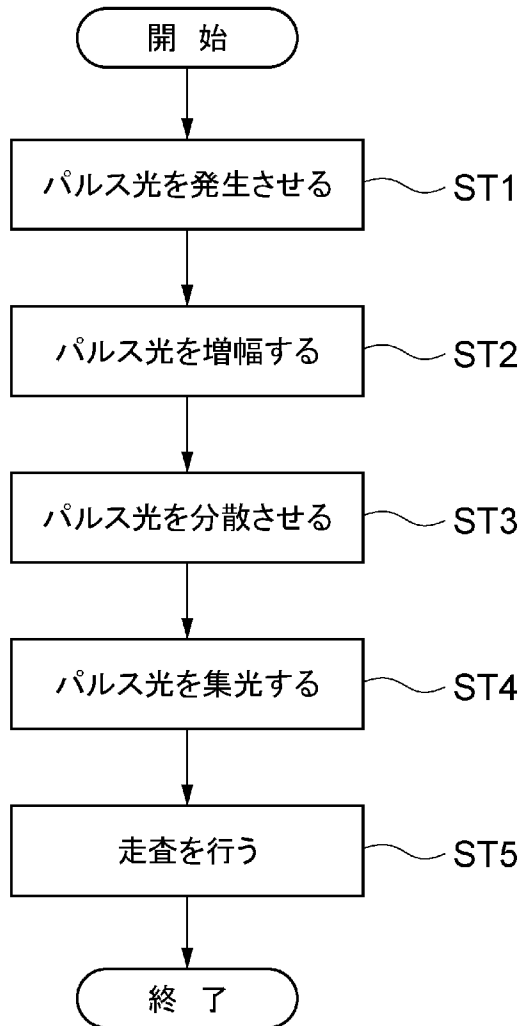
[図8]



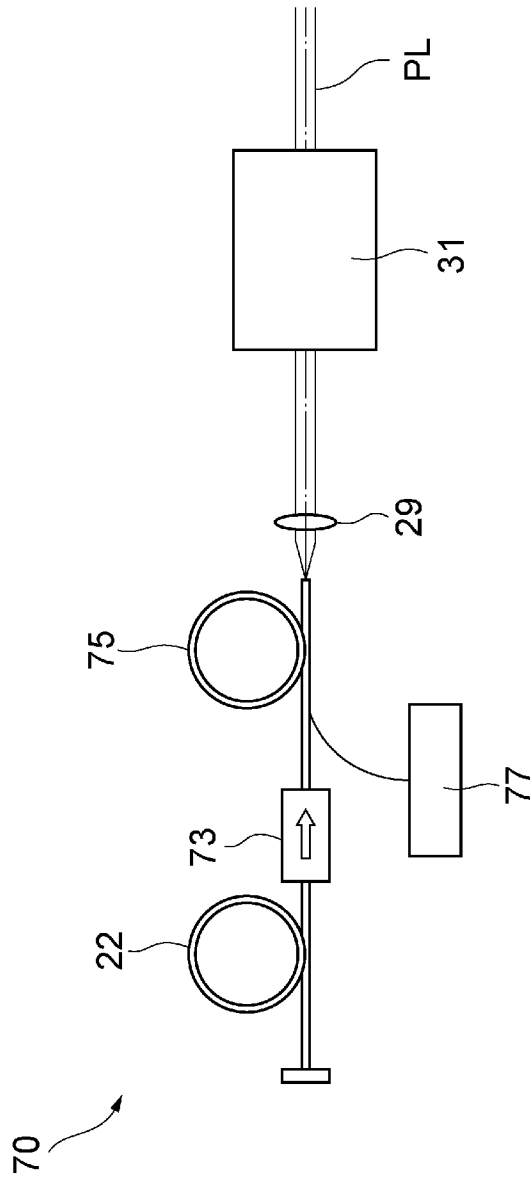
[図9]



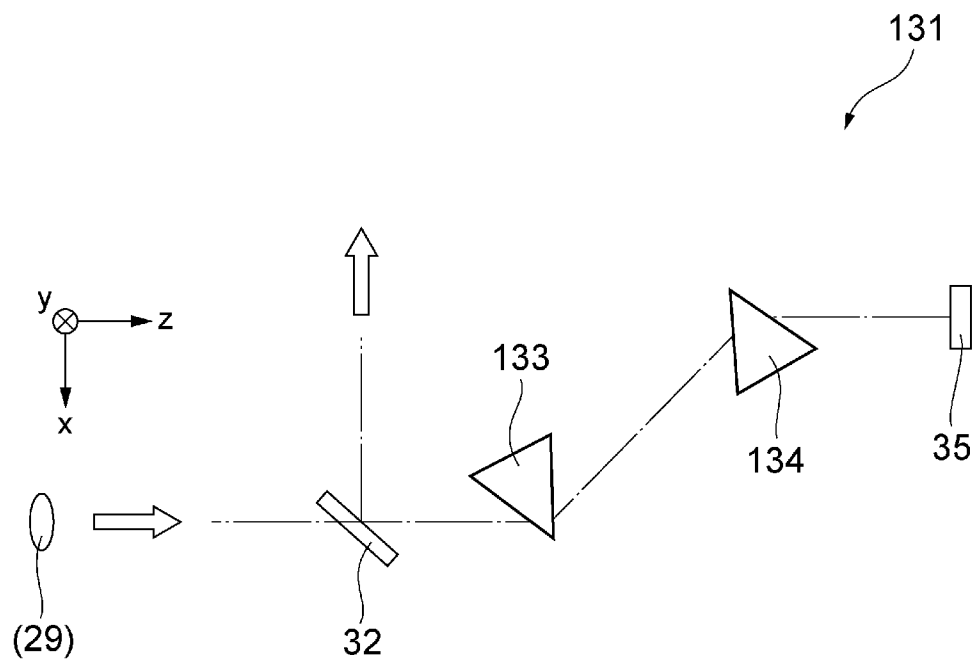
[図10]



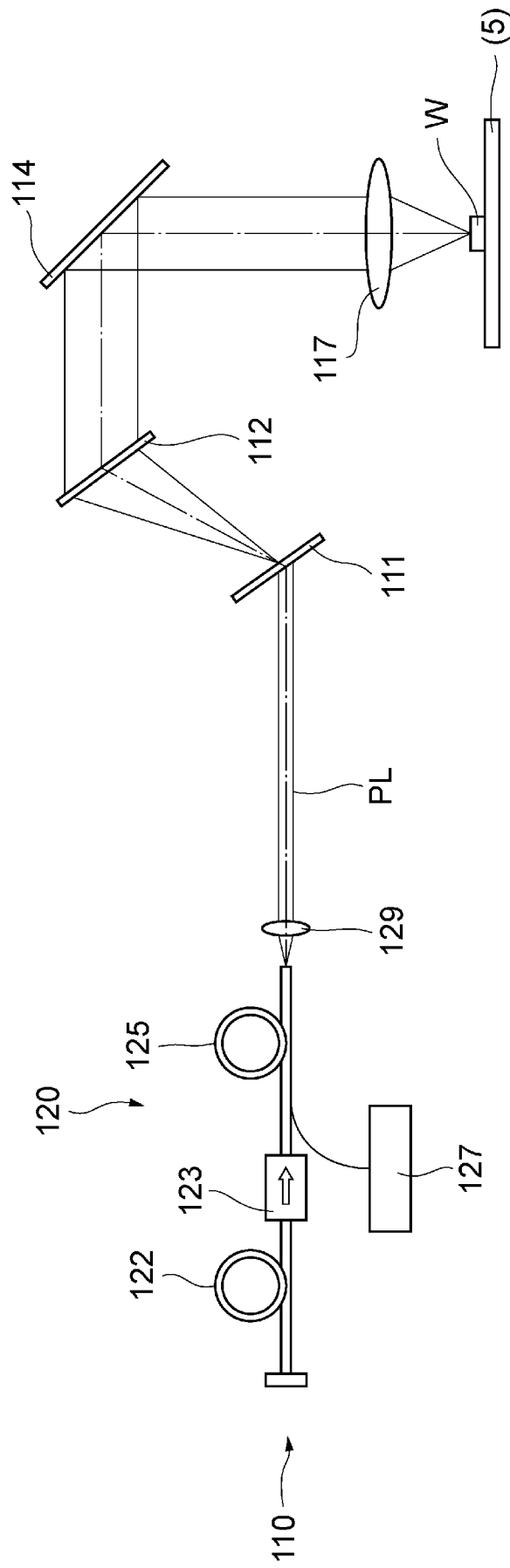
[図11]



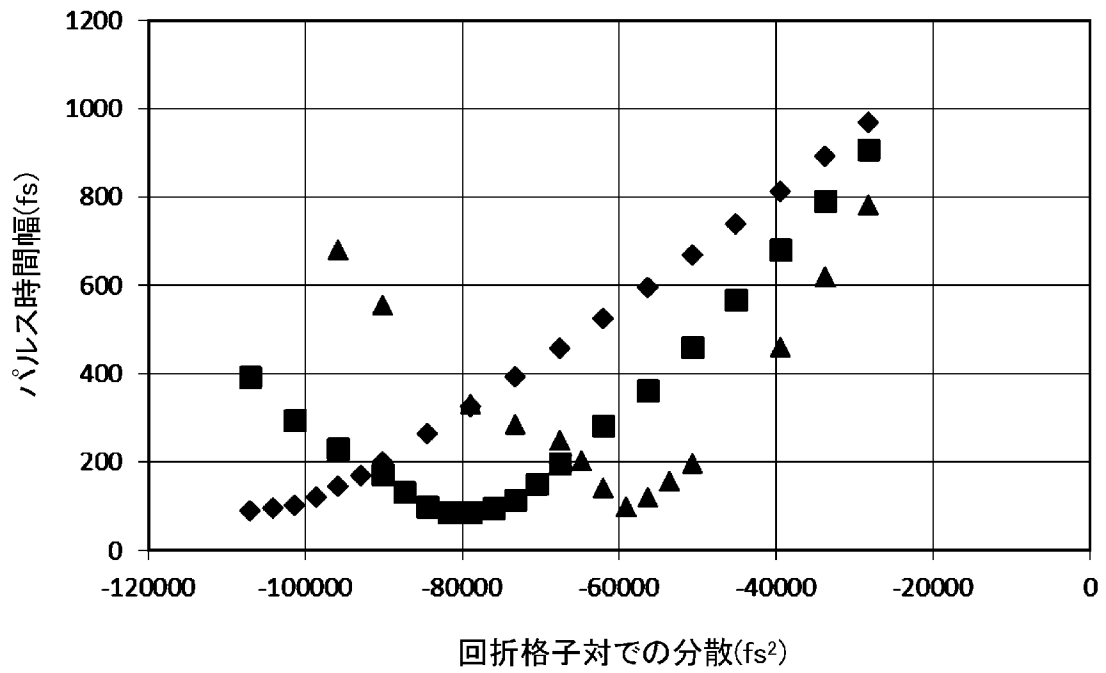
[図12]



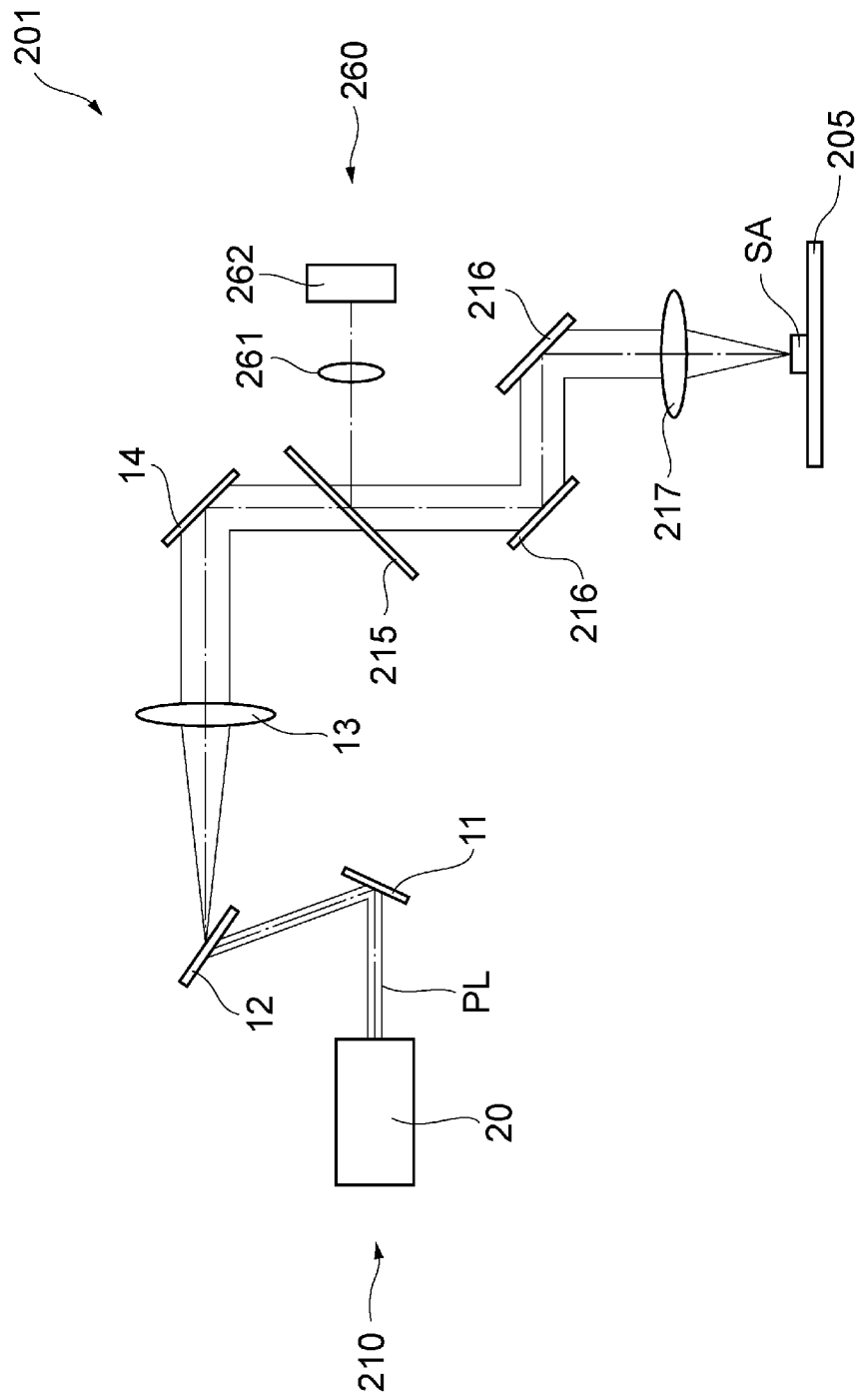
[図13]



[図14]



[図15]



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2023/033478

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER		
<i>G02B 21/06</i> (2006.01)i; <i>B23K 26/082</i> (2014.01)i; <i>G02B 26/10</i> (2006.01)i; <i>G02F 1/365</i> (2006.01)i; <i>H01S 3/067</i> (2006.01)i; <i>H01S 3/10</i> (2006.01)i FI: G02B21/06; B23K26/082; G02B26/10 104Z; G02F1/365; H01S3/067; H01S3/10 D		
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) G02B21/06; B23K26/082; G02B26/10; G02F1/365; H01S3/067; H01S3/10		
Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched Published examined utility model applications of Japan 1922-1996 Published unexamined utility model applications of Japan 1971-2023 Registered utility model specifications of Japan 1996-2023 Published registered utility model applications of Japan 1994-2023		
Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)		
C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT		
Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X A	JP 2017-056489 A (RICOH COMPANY, LIMITED) 23 March 2017 (2017-03-23) paragraphs [0011]-[0012], [0068], [0081], fig. 2, 12, etc.	1, 3, 5-7 2, 4, 8
A	WO 2019/217846 A1 (BOARD OF REGENTS, THE UNIVERSITY OF TEXAS SYSTEM) 14 November 2019 (2019-11-14) entire text, all drawings	1-8
A	WO 2012/135823 A1 (MASSACHUSETTS INSTITUTE OF TECHNOLOGY) 04 October 2012 (2012-10-04) entire text, all drawings	1-8
<input type="checkbox"/> Further documents are listed in the continuation of Box C. <input checked="" 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 02 November 2023		Date of mailing of the international search report 14 November 2023
Name and mailing address of the ISA/JP Japan Patent Office (ISA/JP) 3-4-3 Kasumigaseki, Chiyoda-ku, Tokyo 100-8915 Japan		Authorized officer Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT
Information on patent family members

International application No. PCT/JP2023/033478

Patent document cited in search report	Publication date (day/month/year)	Patent family member(s)	Publication date (day/month/year)
JP 2017-056489 A	23 March 2017	CN 106475681 A	
		KR 10-2017-0026289 A	
		TW 201707825 A	

WO 2019/217846 A1	14 November 2019	US 2021/0161385 A1	
		entire text, all drawings	

WO 2012/135823 A1	04 October 2012	US 2014/0128743 A1	
		entire text, all drawings	

<p>A. 発明の属する分野の分類（国際特許分類（IPC））</p> <p>G02B 21/06(2006.01)i; B23K 26/082(2014.01)i; G02B 26/10(2006.01)i; G02F 1/365(2006.01)i; H01S 3/067(2006.01)i; H01S 3/10(2006.01)i FI: G02B21/06; B23K26/082; G02B26/10 104Z; G02F1/365; H01S3/067; H01S3/10 D</p>														
<p>B. 調査を行った分野</p> <p>調査を行った最小限資料（国際特許分類（IPC）） G02B21/06; B23K26/082; G02B26/10; G02F1/365; H01S3/067; H01S3/10</p> <p>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</p> <table border="0"> <tr> <td>日本国実用新案公報</td> <td>1922 - 1996年</td> </tr> <tr> <td>日本国公開実用新案公報</td> <td>1971 - 2023年</td> </tr> <tr> <td>日本国実用新案登録公報</td> <td>1996 - 2023年</td> </tr> <tr> <td>日本国登録実用新案公報</td> <td>1994 - 2023年</td> </tr> </table> <p>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）</p>			日本国実用新案公報	1922 - 1996年	日本国公開実用新案公報	1971 - 2023年	日本国実用新案登録公報	1996 - 2023年	日本国登録実用新案公報	1994 - 2023年				
日本国実用新案公報	1922 - 1996年													
日本国公開実用新案公報	1971 - 2023年													
日本国実用新案登録公報	1996 - 2023年													
日本国登録実用新案公報	1994 - 2023年													
<p>C. 関連すると認められる文献</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>引用文献の カテゴリー*</th> <th>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</th> <th>関連する 請求項の番号</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>X A</td> <td>JP 2017-056489 A (株式会社リコー) 23.03.2017 (2017-03-23) 段落 [0011] - [0012]、[0068]、[0081]、図2、12等</td> <td>1,3,5-7 2,4,8</td> </tr> <tr> <td>A</td> <td>WO 2019/217846 A1 (BOARD OF REGENTS, THE UNIVERSITY OF TEXAS SYSTEM) 14.11.2019 (2019-11-14) 全文全図</td> <td>1-8</td> </tr> <tr> <td>A</td> <td>WO 2012/135823 A1 (MASSACHUSETTS INSTITUTE OF TECHNOLOGY) 04.10.2012 (2012-10-04) 全文全図</td> <td>1-8</td> </tr> </tbody> </table>			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	X A	JP 2017-056489 A (株式会社リコー) 23.03.2017 (2017-03-23) 段落 [0011] - [0012]、[0068]、[0081]、図2、12等	1,3,5-7 2,4,8	A	WO 2019/217846 A1 (BOARD OF REGENTS, THE UNIVERSITY OF TEXAS SYSTEM) 14.11.2019 (2019-11-14) 全文全図	1-8	A	WO 2012/135823 A1 (MASSACHUSETTS INSTITUTE OF TECHNOLOGY) 04.10.2012 (2012-10-04) 全文全図	1-8
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												
X A	JP 2017-056489 A (株式会社リコー) 23.03.2017 (2017-03-23) 段落 [0011] - [0012]、[0068]、[0081]、図2、12等	1,3,5-7 2,4,8												
A	WO 2019/217846 A1 (BOARD OF REGENTS, THE UNIVERSITY OF TEXAS SYSTEM) 14.11.2019 (2019-11-14) 全文全図	1-8												
A	WO 2012/135823 A1 (MASSACHUSETTS INSTITUTE OF TECHNOLOGY) 04.10.2012 (2012-10-04) 全文全図	1-8												
<p><input type="checkbox"/> C欄の続きにも文献が列挙されている。 <input checked="" type="checkbox"/> パテントファミリーに関する別紙を参照。</p>														
<p>* 引用文献のカテゴリー</p> <p>“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</p> <p>“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</p> <p>“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）</p> <p>“O” 口頭による開示、使用、展示等に言及する文献</p> <p>“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</p> <p>“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抵触するものではなく、発明の原理又は理論の理解のために引用するもの</p> <p>“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</p> <p>“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</p> <p>“&” 同一パテントファミリー文献</p>														
<p>国際調査を完了した日</p> <p>02.11.2023</p>	<p>国際調査報告の発送日</p> <p>14.11.2023</p>													
<p>名称及びあて先</p> <p>日本国特許庁(ISA/JP) 〒100-8915 日本国 東京都千代田区霞が関三丁目4番3号</p>	<p>権限のある職員（特許庁審査官）</p> <p>殿岡 雅仁 2V 4748</p> <p>電話番号 03-3581-1101 内線 3271</p>													

国際調査報告
 パテントファミリーに関する情報

国際出願番号

PCT/JP2023/033478

引用文献			公表日	パテントファミリー文献			公表日
JP	2017-056489	A	23.03.2017	CN	106475681	A	
				KR	10-2017-0026289	A	
				TW	201707825	A	
WO	2019/217846	A1	14.11.2019	US	2021/0161385	A1	
				全文全図			
WO	2012/135823	A1	04.10.2012	US	2014/0128743	A1	
				全文全図			