

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特許公報(B2)

(11) 特許番号

特許第5120847号
(P5120847)

(45) 発行日 平成25年1月16日(2013.1.16)

(24) 登録日 平成24年11月2日(2012.11.2)

(51) Int. Cl. F I
GO2B 26/02 (2006.01) GO2B 26/02 D
HO1S 3/10 (2006.01) HO1S 3/10 Z

請求項の数 3 (全 14 頁)

(21) 出願番号	特願2008-280360 (P2008-280360)	(73) 特許権者	504224153
(22) 出願日	平成20年10月30日(2008.10.30)		国立大学法人 宮崎大学
(65) 公開番号	特開2010-107777 (P2010-107777A)		宮崎県宮崎市学園木花台西1丁目1番地
(43) 公開日	平成22年5月13日(2010.5.13)	(74) 代理人	100137752
審査請求日	平成23年10月24日(2011.10.24)		弁理士 亀井 岳行
		(72) 発明者	横谷 篤至
			宮崎県宮崎市学園木花台西1丁目1番地
			国立大学法人宮崎大学内
		審査官	河原 正
		(56) 参考文献	特開2003-311457 (JP, A)
)
			特開2002-107635 (JP, A)
)
			最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 パルス幅制御装置およびレーザー照射装置

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

レーザー光の光路に対して傾斜して配置され且つ前記レーザー光が入射される入射辺と、前記光路に対して傾斜し且つ前記入射辺に対して傾斜する出射辺とを有し、前記レーザー光の光路上に配置されて内部を前記レーザー光が透過するレーザー光透過素子と、

前記レーザー光透過素子内を通過する光路に対して傾斜する素子移動方向に前記レーザー光透過素子を移動可能に支持する素子移動装置と、

前記素子移動装置の移動量を制御して、前記レーザー光透過素子内を通過するレーザー光の光路長を制御し、出力されるレーザー光のパルス幅を変化させるパルス幅制御手段と、

を備え、

前記レーザー光透過素子は、直角二等辺三角柱状の第1プリズム、第2プリズム、第3プリズムおよび第4プリズムからなり、

前記第1プリズムは、直角二等辺三角形の斜辺により構成された第1の前記入射辺に前記レーザー光が入射されると共に、前記レーザー光の入射光路に対して直交して配置された第1の前記出射辺から前記レーザー光が出射され、

前記第2プリズムは、前記レーザー光の入射光路に対して直交し且つ前記第1の出射辺に沿って配置された第2の前記入射辺から前記レーザー光が入射され、直角二等辺三角形の斜辺により構成された第2の前記出射辺から前記レーザー光が出射され、

前記第3プリズムは、前記入射光路に対して直交する線分を基準として前記第2プリズ

ムに対して線対称に配置されると共に、直角二等辺三角形の斜辺により構成された第3の前記入射辺に前記レーザー光が入射されると共に、前記レーザー光の入射光路に対して直交して配置された第3の前記出射辺から前記レーザー光が出射され、

前記第4プリズムは、前記入射光路に対して直交する線分を基準として前記第1プリズムに対して線対称に配置されると共に、前記入射光路に対して直交し且つ前記第3の出射辺に沿って配置された第4の前記入射辺から前記レーザー光が入射され、直角二等辺三角形の斜辺により構成された第4の前記出射辺から前記レーザー光が出射され、

前記素子移動装置は、前記第1プリズムおよび第4プリズムを前記入射光路に対して直交する方向に移動させる第1のプリズム移動装置と、前記第2プリズムおよび第3プリズムを前記入射光路に対して直交する方向に移動させる第2のプリズム移動装置と、を有する

10

ことを特徴とするパルス幅制御装置。

【請求項2】

パルス幅がフェムト秒のフェムト秒レーザー光により構成された前記レーザー光を使用することを特徴とする請求項1に記載のパルス幅制御装置。

【請求項3】

レーザー光を出射するレーザー光源と、

前記レーザー光源装置から出射されたレーザー光の光路上に配置され、レーザー光源装置からのレーザー光のパルス幅を制御する請求項1または2に記載のパルス幅制御装置と

20

を備えたことを特徴とするレーザー照射装置。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、レーザー光のパルス幅を制御するパルス幅制御装置およびレーザー照射装置に関し、特に、パルス幅をピコ秒 (10^{-12} 秒) やそれより小さいフェムト秒、特に、100フェムト秒オーダー (10^{-13} 秒) 前後の範囲で制御するのに好適なパルス幅制御装置およびレーザー照射装置に関する。

【背景技術】

【0002】

近年の電子機器の小型化、高性能化に伴い、直径100 μm の微細化されたマイクロモータや各種センサ、アクチュエータ、電気回路等が集積されたデバイス、いわゆるMEMS (Micro Electro Mechanical Systems) を作製する技術の進展が望まれている。前記MEMSを作成する技術として、レーザー光を使用したレーザー加工技術が使用されており、さらなる微細な加工が要求されてきている。

30

前記レーザー加工技術であるレーザーアブレーション加工では、固体材料のターゲットにレーザー光が照射された時に、ターゲット表面の材料が放出されて、表面が削り取られることで、非接触で加工している。

【0003】

レーザーアブレーション加工等において使用されるレーザー光において、レーザー光が発光する時間であるパルス幅は、ターゲットに照射される時間に関連し、パルス幅がナノ秒 (ns) のナノ秒レーザー光や、パルス幅がピコ秒 (ps) のピコ秒レーザー光を使用する場合に比べて、さらにパルス幅が短いレーザー光を使用した場合は、より短時間で大きなエネルギーが伝達できるため、高品質、高精度で、熱の影響が小さくなる利点がある。

40

前記レーザーアブレーション加工をはじめ、レーザー光を使用した加工や実験、測定等では、光学素子の劣化や要求されている加工精度等の観点から、パルス幅を変化させたい場合がある。

パルス幅を変化させる技術として、下記の特許文献1、2記載の技術が知られている。

【0004】

50

特許文献1(特開2005-148550号公報)には、一般のレーザー光について、ビームスプリッタ(11)で分離された一部のレーザー光を、複数の反射鏡(12a~12d)や複数のプリズム(22a~22d)、複数の凸面レンズ(32a~32d)等を使用して、8の字状の遅延光路を通過させ、再びビームスプリッタ(11)で合成することで、出力されるレーザー光のパルス幅を伸張する技術が記載されている。すなわち、通過する光路長を変化させることで、パルス幅を伸張する技術が記載されている。

【0005】

特許文献2(特開2004-55626号公報)には、超短パルスレーザー(1)から出たパルス光を、ビームスプリッタ2で分離して、分離されたパルス光を一对の回折格子対(8、9)を有するパルス幅制御装置内(7)に導入し、回折格子(8、9)で回折された際に、パルス光に含まれる波長成分が分解され、短波長側と長波長側で異なる距離の光路を通過した後で合成されることで、パルス幅を広げる技術が記載されている。このとき、回折格子対(8、9)の距離を可変として、回折格子対(8、9)の距離を制御することで、パルス幅を任意の幅に制御している。

10

【0006】

また、特許文献2には、回折格子対(11、12)の間隔を固定して、回折格子で回折されたパルス光が通過するスリット(14)を設け、スリット(14)の幅を可変にすることで、パルス幅を変化させる技術が記載されている。

さらに、特許文献2には、三角プリズム対(15、16)で分光されて光路の距離が変化したパルス光を、幅が可変のスリット(14)を使用することでパルス幅を制御する技術が記載されている。

20

また、特許文献2には、光ファイバの波長分散特性を利用してパルス幅を広げる技術も記載されている。

【0007】

【特許文献1】特開2005-148550号公報(「0011」~「0016」、図3~図7)

【特許文献2】特開2004-55626号公報(「0019」~「0025」、図2~図5)

【発明の開示】

【発明が解決しようとする課題】

30

【0008】

(従来技術の問題点)

前記特許文献1記載の技術では、8の字の光路に応じて設定された特定のパルス幅に変化させることは可能であるが、パルス幅を連続的に変化させることはできない問題がある。

特許文献2記載の技術では、回折格子やプリズムを使用した場合、現実には光路差が小さいため、パルス幅の微調整は可能であるが、パルス幅を大きく変化させようとする、装置が大型化する問題がある。例えば、プリズムを使用する場合において、最初のプリズム(15)への入射角を48.85°、プリズム(15、16)の間隔を10cmとした場合、計算すると、変化可能なパルス幅は最大でも1.12fs(フェムト秒)程度であり、スリットを制御すると、これよりもさらに小さくなるため、パルス幅の微調整しかなかった。したがって、例えば、パルス幅を10fs変化させようとする、プリズム間隔が数m程度必要となり、100fs変化させようとする、数十m必要となる。

40

【0009】

したがって、特許文献1、2記載の技術のように、レーザー光が通過する空気中の光路長を制御し、光路差によりパルス幅を制御する技術では、時間差が非常に小さくなってしまいうため、パルス幅を10fs~100fs~1000fs範囲で任意のパルス幅に制御するには、装置が大型化する問題がある。

【0010】

50

本発明は、前述の事情に鑑み、小型の装置で、10～1000フェムト秒オーダーの範囲でパルス幅を連続的に変化させることを技術的課題とする。

【課題を解決するための手段】

【0011】

前記技術的課題を解決するために、請求項1に記載の発明のパルス幅制御装置は、
 レーザー光の光路に対して傾斜して配置され且つ前記レーザー光が入射される入射辺と、
 前記光路に対して傾斜し且つ前記入射辺に対して傾斜する出射辺とを有し、前記レーザー光の光路上に配置されて内部を前記レーザー光が透過するレーザー光透過素子と、
 前記レーザー光透過素子内を通過する光路に対して傾斜する素子移動方向に前記レーザー光透過素子を移動可能に支持する素子移動装置と、

10

前記素子移動装置の移動量を制御して、前記レーザー光透過素子内を通過するレーザー光の光路長を制御し、出力されるレーザー光のパルス幅を変化させるパルス幅制御手段と、

を備え、

前記レーザー光透過素子は、直角二等辺三角柱状の第1プリズム、第2プリズム、第3プリズムおよび第4プリズムからなり、

前記第1プリズムは、直角二等辺三角形の斜辺により構成された第1の前記入射辺に前記レーザー光が入射されると共に、前記レーザー光の入射光路に対して直交して配置された第1の前記出射辺から前記レーザー光が出射され、

前記第2プリズムは、前記レーザー光の入射光路に対して直交し且つ前記第1の出射辺に沿って配置された第2の前記入射辺から前記レーザー光が入射され、直角二等辺三角形の斜辺により構成された第2の前記出射辺から前記レーザー光が出射され、

20

前記第3プリズムは、前記入射光路に対して直交する線分を基準として前記第2プリズムに対して線対称に配置されると共に、直角二等辺三角形の斜辺により構成された第3の前記入射辺に前記レーザー光が入射されると共に、前記レーザー光の入射光路に対して直交して配置された第3の前記出射辺から前記レーザー光が出射され、

前記第4プリズムは、前記入射光路に対して直交する線分を基準として前記第1プリズムに対して線対称に配置されると共に、前記入射光路に対して直交し且つ前記第3の出射辺に沿って配置された第4の前記入射辺から前記レーザー光が入射され、直角二等辺三角形の斜辺により構成された第4の前記出射辺から前記レーザー光が出射され、

30

前記素子移動装置は、前記第1プリズムおよび第4プリズムを前記入射光路に対して直交する方向に移動させる第1のプリズム移動装置と、前記第2プリズムおよび第3プリズムを前記入射光路に対して直交する方向に移動させる第2のプリズム移動装置と、を有する

ことを特徴とする。

【0013】

請求項2に記載の発明は、請求項1に記載のパルス幅制御装置において、パルス幅がフェムト秒のフェムト秒レーザー光により構成された前記レーザー光を使用することを特徴とする。

【0014】

前記技術的課題を解決するために、請求項3に記載の発明のレーザー照射装置は、
 レーザー光を出射するレーザー光源と、
 前記レーザー光源装置から出射されたレーザー光の光路上に配置され、レーザー光源装置からのレーザー光のパルス幅を制御する請求項1または2に記載のパルス幅制御装置と、
 を備えたことを特徴とする。

40

【発明の効果】

【0015】

請求項1、3に記載の発明によれば、レーザー光透過素子内を透過する際のレーザー光に含まれる波長成分の速度差と、パルス幅制御手段により制御された光路長とに応じて、

50

レーザー光の波長成分の間に発生する時間差を制御することができ、従来の構成に比べて、小型の構成で、レーザー光のパルス幅を広い範囲で制御することができる。

また、請求項 1、3 に記載の発明によれば、4 つのプリズムを使用することで、光路長を制御できると共に、レーザー光の 4 つのプリズムに対する入射光路と出射光路とを同軸上にすることができ、既設の装置の光路上に容易に組み込むことができる。

請求項 2 に記載の発明によれば、フェムト秒レーザー光のパルス幅を広い範囲で制御することができる。

【発明を実施するための最良の形態】

【0016】

次に図面を参照しながら、本発明の実施の形態の具体例としての実施例を説明するが、本発明は以下の実施例に限定されるものではない。

なお、以後の説明の理解を容易にするために、図面において、前後方向を X 軸方向、左右方向を Y 軸方向、上下方向を Z 軸方向とし、矢印 X, - X, Y, - Y, Z, - Z で示す方向または示す側をそれぞれ、前方、後方、右方、左方、上方、下方、または、前側、後側、右側、左側、上側、下側とする。

また、図中、「 \cdot 」の中に「 \cdot 」が記載されたものは紙面の裏から表に向かう矢印を意味し、「 \times 」の中に「 \times 」が記載されたものは紙面の表から裏に向かう矢印を意味するものとする。

【実施例 1】

【0017】

図 1 は本発明の実施例 1 のパルス幅制御装置を含むレーザー照射装置の全体説明図である。

図 1 において、本発明の実施例 1 のレーザー照射装置 1 は、レーザー光の一例であってパルス幅がフェムト秒のフェムト秒レーザー光を出射するフェムト秒レーザー光源 2 を有する。フェムト秒レーザー光源 2 から出射されたフェムト秒レーザー光 3 は、パルス幅制御装置 4 に入射される。パルス幅制御装置 4 に入射されたフェムト秒レーザー光 3 は、パルス幅制御装置 4 でパルス幅が制御されて、被照射物の一例としての試料 S に照射される。

【0018】

図 2 は実施例 1 のパルス幅制御装置の斜視説明図である。

図 2 において、パルス幅制御装置 4 は、上方に配置された第 1 のプリズム移動装置 11 と、下方に配置された第 2 のプリズム移動装置 12 とからなる素子移動装置 13 を有する。

第 1 のプリズム移動装置 11 は、上下方向に延びる第 1 のエアシリンダ 16 と、第 1 のエアシリンダ 16 により上下方向に移動可能に支持された第 1 のプリズム支持ステージ 17 とを有する。前記第 1 のプリズム支持ステージ 17 は、略 U 字形状に形成されており、U 字状の第 1 のプリズム支持ステージ 17 の 2 つの上端部には、第 1 の素子支持部の一例として、前方に折り曲げられた形状の第 1 のプリズム支持部 17a, 17b が形成されている。左側の第 1 のプリズム支持部 17a には、レーザー光透過素子の一例としての第 1 プリズム 18 が固定支持されている。

【0019】

前記第 1 プリズム 18 は、直角二等辺三角柱状に形成されており、フェムト秒レーザー光 3 の入射光路 3a に対して入射辺としての第 1 斜辺 18a が 45° 傾斜した状態で配置されている。すなわち、実施例 1 ではフェムト秒レーザー光 3 の第 1 プリズム 18 への入射角は 45° となっている。

したがって、第 1 プリズム 18 の残りの二辺は、出射辺としての第 1 垂直辺 18b が上下方向（入射光路 3a に対して垂直に傾斜した方向）に沿って配置されると共に、残りの第 1 水平辺 18c が水平方向（入射光路 3a に沿った）方向に配置されている。したがって、実施例 1 では、フェムト秒レーザー光 3 は、第 1 斜辺 18a から入射し、第 1 プリズム 18 内を透過して、第 1 垂直辺 18b から出射される。

10

20

30

40

50

【 0 0 2 0 】

右側の第1のプリズム支持部17bには、レーザー光透過素子の一例としての第4プリズム19が固定支持されている。第4プリズム19は、前記第1プリズム18と同様に直角二等辺三角柱状に形成されており、第1プリズム18に対して左右対称、すなわち、入射光路3aに垂直な線分を基準にして線対称に配置されており、第4斜辺19a、第4垂直辺19b、第4水平辺19cを有する。したがって、実施例1の第4プリズム19は、入射辺としての第4垂直辺19bからフェムト秒レーザー光3が入射され、出射辺としての第4斜辺19aから出射されるように配置されている。

【 0 0 2 1 】

第2のプリズム移動装置12は、第1のエアシリンダ16の側方に配置された上下方向に伸びる第2のエアシリンダ21と、前記第2のエアシリンダ21により上下方向に移動可能に支持された側面から見た場合に略L字形に折り曲げられた板状の第2のプリズム支持ステージ22と、を有する。前記第2のプリズム支持ステージ22は、第2の素子支持部の一例としての第2のプリズム支持部22aを有し、第2のプリズム支持部22aの下面には、レーザー光透過素子の一例としての第2プリズム23および第3プリズム24とが固定支持されている。

10

【 0 0 2 2 】

前記第2プリズム23は、前記第1プリズム18、第4プリズム19と同様に直角二等辺三角柱状に形成されており、第1プリズム18に対して左右対称且つ上下対称に配置されている。第2プリズム23は、第2斜辺23a、第2垂直辺23b、第2水平辺23cを有し、第2垂直辺23bが第1プリズム18の第1垂直辺18bに対して近接し且つ平行な状態となるように、第2プリズム23は配置されている。したがって、実施例1の第2プリズム23では、入射辺としての第2垂直辺23bからフェムト秒レーザー光3が入射され、出射辺としての第2斜辺23aから出射される。

20

【 0 0 2 3 】

前記第3プリズム24は、各プリズム18、19、23と同様に直角二等辺三角柱状に形成されており、第2プリズム23に対して左右対称、すなわち、入射光路3aに垂直な線分を基準にして線対称に配置されている。第3プリズム24は、第3斜辺24a、第3垂直辺24b、第3水平辺24cを有し、第3垂直辺24bが第4プリズム19の第4垂直辺19bに対して近接し且つ平行な状態となるように、第3プリズム24は配置されている。したがって、実施例1の第2プリズム23では、入射辺としての第3斜辺24aからフェムト秒レーザー光3が入射され、出射辺としての第3垂直辺24bから出射される。

30

【 0 0 2 4 】

図1、図2において、前記パルス幅制御装置4には、情報処理装置であって、パルス幅制御手段の一例としてのパーソナルコンピュータPCが接続されている。したがって、パルス幅制御装置4のエアシリンダ16、21は、パーソナルコンピュータPCから入力される制御信号に基づいて移動量が制御され、各プリズム18、19、23、24の光路3aに対する上下方向の位置が制御される。

なお、実施例1では、プリズム18、19、23、24を移動させる装置として、エアシリンダ16、21を例示したが、この構成に限定されず、油圧シリンダや、モータとギアとの組み合わせ等、任意の移動機構を採用することが可能である。

40

【 0 0 2 5 】

(実施例1の作用)

前記構成を備えた実施例1のレーザー照射装置1では、エアシリンダ16、21を作動させて、プリズム18、19、23、24を光路3aに対して移動させることで、レーザー光3が透過する光路長を連続的に制御される。

前記パルス幅制御装置4に入力されたフェムト秒レーザー光3は、パルス幅制御装置4のプリズム18、19、23、24を透過する際に、波長毎にプリズム中を進む速度が異なる(スネルの法則、屈折の法則)。したがって、プリズム18、19、23、24を通

50

過する各波長の光に速度差が発生し、通過する時間に差が発生し、通過時間の差に応じて、パルス幅が広がる。

【 0 0 2 6 】

図 3 は実施例 1 のプリズムをレーザー光が透過する状態の説明図であり、図 3 A はフェムト秒レーザー光がプリズムで屈折する状態の説明図、図 3 B はフェムト秒レーザー光の一例としてのピークが 780 nm のレーザー光が第 1 プリズムで屈折する説明図である。

図 3 において、例えば、ピークが 780 nm の赤色のフェムト秒レーザー（チタン・サファイアレーザー）を使用し、等辺 18 b, 18 c の長さ L が 5 cm のプリズムを使用した場合を例として考える。

ピークが 780 nm の赤色のレーザー光は、近傍の 760 nm ~ 800 nm の波長成分も含まれており、波長 760 nm の屈折率を n_{760} とし、波長 800 nm の屈折率を n_{800} とし、空気中の光速を v_0 とし、プリズム中の波長 760 nm の光速を v_{760} とし、プリズム中の波長 800 nm の光速を v_{800} とすると、スネルの法則から、以下の式 (1)、(2) が成立する。

$$v_{760} = v_0 / n_{760} = 1.9833 \times 10^8 \text{ [m/s]} \quad \dots \text{式 (1)}$$

$$v_{800} = v_0 / n_{800} = 1.9844 \times 10^8 \text{ [m/s]} \quad \dots \text{式 (2)}$$

なお、式 (1)、(2) における数値は、屈折率 n_{760} , n_{800} として硼珪酸ガラスの屈折率を使用して計算をした。

【 0 0 2 7 】

実施例 1 の構成では、第 1 プリズム 18 への入射角は共に $i_1 = 45^\circ$ であり、波長 760 nm の屈折角を r_{760} とし、波長 800 nm の屈折角を r_{800} とし、第 1 プリズム 18 の入射光路 3 a から上端までの距離を x_1 とした場合、波長 760 nm の光の通過する光路 L_{760} および波長 800 nm の光の通過する光路 L_{800} は、正弦定理から、式 (3)、(4) で導出される。

$$L_{760} = x_1 / \sin(r_{760} + 45^\circ) \quad \dots \text{式 (3)}$$

$$L_{800} = x_1 / \sin(r_{800} + 45^\circ) \quad \dots \text{式 (4)}$$

なお、屈折角 r は、スネルの法則から、以下の式 (5)、(5') で導出される。

$$\sin i_1 / \sin r_{760} = v_0 / v_{760} \quad \dots \text{式 (5)}$$

$$\sin i_1 / \sin r_{800} = v_0 / v_{800} \quad \dots \text{式 (5')}$$

なお、他のプリズム 19, 23, 24 についても、式 (3)、(4) と同様にして光路を導出することが可能であるため、詳細な説明は省略する。

前記式 (3)、(4) において、 x_1 が 1 [cm] の場合、 $L_{760} = 1.0463$ cm、 $L_{800} = 1.0462$ cm であり、光路差はほとんどない。また、 r_{760} と r_{800} の角度差もほとんど無視できる。

【 0 0 2 8 】

図 4 はプリズムの移動範囲の説明図であり、図 4 A は光路長が最小になる最小光路長位置にプリズムが移動した状態の説明図、図 4 B は光路長が最大になる最大光路長位置にプリズムが移動した状態の説明図である。

図 5 は実施例 1 の構成における時間差の計算結果の一覧表である。

式 (1)、(2) で導出されたプリズム内の各波長の速度と、式 (3) ~ (5) 等を使用して導出されたプリズム内の光路の合計（光路長）と、に基づいて、時間差を計算すると、図 4 A に示すように光路長が最小（ x_1 が 1 cm 程度に設定）の場合、図 5 に示すように波長 760 nm の通過時間が 306.57 ps（ピコ秒）であり、波長 800 nm の通過時間が 306.44 ps であった。したがって、時間差は 130 fs となる。また、図 4 B に示すように、光路長が最大（ x_1 が 4 cm 程度に設定）の場合、波長 760 nm の通過時間が 806.75 ps、波長 800 nm の通過時間が 806.43 ps で、時間差は 320 fs となる。したがって、例示した構成の場合、130 fs ~ 320 fs の範囲で、パルス幅を変化させることが可能であることがわかる。

【 0 0 2 9 】

したがって、実施例 1 のパルス幅制御装置 4 では、プリズム 18, 19, 23, 24 を

10

20

30

40

50

光路 3 a に対して移動させることで、レーザー光 3 が透過する光路長が連続的に制御され、100 fs オーダで、パルス幅を任意の値だけ変化させることができる。

したがって、従来のように、分光した各波長成分の光路長の差では、空気中を通過する速度に差がほとんど無いため、時間差がほとんどなく、パルス幅を数 fs しか変化させられず、微調整しかできなかつたが、実施例 1 のように、速度差が発生するプリズム中を通過する光路長を利用することで、プリズムが 5 cm 程度の小型のものでも、100 fs オーダでパルス幅を制御することができる。

この結果、実施例 1 のパルス幅制御装置 4 は、従来構成に比べて小型の構成で、100 fs オーダでのパルス幅の制御を実現できる。

【0030】

なお、実施例の構成では、第 1 プリズム 18 と第 4 プリズム 19 が線対称に配置され、第 2 プリズム 23 と第 3 プリズム 24 が線対称に配置され、且つ、第 1 プリズム 18、第 2 プリズム 23 に対して、第 3 プリズム 19、第 4 プリズム 19 が線対称に配置されているため、パルス幅制御装置 4 全体として、レーザー光 3 の入射光路 3 a と、出射光路 3 b とを同軸上に行うことができる。すなわち、既設の装置に組み込む場合に、レーザー光 3 の光路が変化せず、既設の装置の設定や位置の変更を行う必要がなく、光路上に追加して設置するだけで、容易にパルス幅を 100 fs のオーダで制御することができる。

【0031】

また、小型で容易に設置が可能であるため、例えば、パルス幅制御装置 4 を 2 つ並べて配置することで、倍の範囲 (260 fs ~ 640 fs) で制御でき、3 つ並べることで 1000 fs 近くの範囲までパルス幅が制御できる。

なお、複数個並べなくても、パルス幅制御装置 4 から出射されたレーザー光 3 を、ミラー等で反射して、もう一度パルス幅制御装置 4 に入射することを何度か繰り返すことで、同様の効果を得ることが可能である。したがって、この場合は、パルス幅を 100 fs 程度変化させる場合は、ミラーで反射させず、1000 fs 程度変化させる場合には、ミラーを使用することで、100 fs ~ 1000 fs 程度の範囲でパルス幅を制御することができる。

【0032】

(実験例)

図 6 は実験例 1 の装置の全体説明図である。

次に、本発明の効果を確認するための実験を行った。

実験は、実施例 1 の構成のパルス幅制御装置 4 を使用し、図 6 に示す実験装置を使用して行った。フェムト秒レーザー光として、パルス幅 160 fs で、波長 882 nm の基本波と波長 441 nm の第 2 高調波とを含むダブルパルス光を使用した。パルス幅制御装置 4 から出力されたレーザー光は、第 1 反射鏡 41 で反射され、第 1 ビームスプリッタ 42 で、分岐される。

【0033】

第 1 ビームスプリッタ 42 で分岐された一方のレーザー光は、第 2 反射鏡 43 で反射されて遅延光学素子 44 に入射される。前記遅延光学素子 44 は、レーザー光の光路長を制御する従来公知の素子であり、遅延用第 1 反射鏡 46 および遅延用第 2 反射鏡 47 を有し、第 2 反射鏡 43 に接近、離間する方向に移動可能に構成されている。したがって、遅延光学素子 44 と第 2 反射鏡 43 との距離を制御することで、レーザー光の光路が変化し、レーザー光を遅延させることができる。遅延光学素子 44 から出力されたレーザー光は、第 3 反射鏡 48 で反射され、第 2 ビームスプリッタ 49 に入射される。

第 1 ビームスプリッタ 42 で分岐された他方のレーザー光は、第 4 反射鏡 51 および第 5 反射鏡 52 で反射されて、第 2 ビームスプリッタ 49 に入射される。したがって、第 2 ビームスプリッタ 49 で、レーザー光が合成され、遅延光学素子 44 での遅延に応じて、一方のレーザー光と他方のレーザー光とが干渉する。

【0034】

第 2 ビームスプリッタ 49 から出力されたレーザー光は、非線形光学結晶の一例として

10

20

30

40

50

のLBO結晶53に入力されて第2高調波の位相整合が行われ、プリズム54で基本波と第2高調波とが分離される。分離された波長882nmの基本波を遮光部材56で遮光し、波長441nmの第2高調波の強度を強度測定装置57で測定した。

なお、実験は、パルス幅制御装置4において、光路長が最小の場合と、光路長が最大の場合で、遅延光学素子44で遅延時間を変化させて、レーザー光の強度を測定した。測定結果を図7に示す。

【0035】

図7は実験例の実験結果のグラフであり、図7Aは光路長が最小の場合のグラフ、図7Bは光路長が最大の場合のグラフである。

図7において、横軸に遅延時間(Delay time)を取り、縦軸に強度を取ると、図7に示すような測定値が測定された。測定された測定値から、従来公知の自己相関法で自己相関波形を演算し、自己相関波形からパルス幅(半値全幅)を演算した。

この結果、光路長が最小の場合は、第2高調波発生の遅延時間の半値幅から求めたパルス幅は、197fsとなり、元々のパルス幅160fsからの変化は小さかった。光路長が最大の場合は、パルス幅は349fsであった。

したがって、100fsオーダでパルス幅が制御できることが確認された。

【実施例2】

【0036】

図8は本発明の実施例2のパルス幅制御装置の要部説明図である。

次に、本発明の実施例2の説明をするが、この実施例2の説明において、前記実施例1の構成要素に対応する構成要素には同一の符号を付して、その詳細な説明を省略する。

この実施例2は、下記の点で前記実施例1と相違しているが、他の点では前記実施例1と同様に構成されている。

図8において、実施例2のパルス幅制御装置4では、実施例1のパルス幅制御装置4とは異なり、レーザー光透過素子として、2つのプリズム18、19を有する。実施例2の第1プリズム18および第2プリズム19は、共に同一形状の直角三角柱上に構成されており、3つの角が、90°、30°、60°となっている。

【0037】

そして、第1プリズム18は、フェムト秒レーザー光3の入射光路3aに対して、入射辺としての第1垂直辺18bが直交する状態で配置されている。したがって、実施例2では、レーザー光透過素子への入射角は90°に設定されている。第2プリズム19は、第1プリズム18の出射辺としての第1斜辺18aに平行して、入射辺としての第2斜辺19aが配置されている。そして、出射辺としての第2垂直辺19bからフェムト秒レーザー光が出力される。

なお、実施例2では、第1プリズム18を支持して移動させる第1プリズム移動装置11は、入射光路3aに対して、第1斜辺18aに沿った方向に第1プリズム18を移動可能に支持する。同様に、第2プリズム19を支持して移動させる第2プリズム移動装置12は、入射光路3aに対して、第2斜辺19aに沿った方向に第1プリズム19を移動可能に支持する。

【0038】

(実施例2の作用)

前記構成を備えた実施例2のパルス幅制御装置4では、フェムト秒レーザー光3がプリズム18、19を通過する際に、波長に応じて発生する速度差により、パルス幅が広がる。そして、素子移動装置13(11+12)を制御して、フェムト秒レーザー光3がプリズム18、19を透過する光路長を制御することで、パルス幅を制御することができる。

なお、第1水平辺18cおよび第2水平辺19cの長さLを3cmとすると、フェムト秒レーザー光3がプリズム18、19を透過する光路長は、0cm(プリズム18、19が光路3aから外れた状態)~6cm(水平辺18c、19cの近傍を透過する状態)の範囲で制御することができる。例えば、通過する光路長が3cmとして

10

20

30

40

50

、その他の条件は実施例 1 と同様にして計算をすると、 84 fs の時間差を発生させることができ、パルス幅を 84 fs 広げることができる。したがって、数 10 fs ~ 数 100 fs 程度の範囲でパルス幅を制御することができる。

その他、実施例 2 は実施例 1 と同様の作用、効果を有する。

【0039】

(変更例)

以上、本発明の実施例を詳述したが、本発明は、前記実施例に限定されるものではなく、特許請求の範囲に記載された本発明の要旨の範囲内で、種々の変更を行うことが可能である。

例えば、前記実施例において、プリズムの数や大きさ、材質は、変化させたいパルス幅の設定や、設計、仕様等に応じて、任意に変更可能である。

また、前記実施例において、フェムト秒レーザー光の入射光路 3 a と出射光路とが同一軸上であることが望ましいが、プリズムの数や配置角度、ミラー（反射鏡）等を使用して同一でないように設定することも可能である。

【0040】

前記実施例において、パルス幅制御手段としてパーソナルコンピュータを例示したが、この構成に限定されず、制御回路（電子回路）と操作部とを有する入力制御装置を使用することも可能である。

本発明は、レーザー光としてパルス幅がフェムト秒のフェムト秒レーザー光に特に好適に使用可能であるが、フェムト秒レーザー光に限定されず、例えば、パルス幅がピコ秒（ $= 1000$ フェムト秒）オーダのピコ秒レーザー光に対して使用することも可能である。

【図面の簡単な説明】

【0041】

【図 1】図 1 は本発明の実施例 1 のパルス幅制御装置を含むレーザー照射装置の全体説明図である。

【図 2】図 2 は実施例 1 のパルス幅制御装置の斜視説明図である。

【図 3】図 3 は実施例 1 のプリズムをレーザー光が透過する状態の説明図であり、図 3 A はフェムト秒レーザー光がプリズムで屈折する状態の説明図、図 3 B はフェムト秒レーザー光の一例としてのピークが 780 nm のレーザー光が第 1 プリズムで屈折する説明図である。

【図 4】図 4 はプリズムの移動範囲の説明図であり、図 4 A は光路長が最小になる最小光路長位置にプリズムが移動した状態の説明図、図 4 B は光路長が最大になる最大光路長位置にプリズムが移動した状態の説明図である。

【図 5】図 5 は実施例 1 の構成における時間差の計算結果の一覧表である。

【図 6】図 6 は実験例 1 の装置の全体説明図である。

【図 7】図 7 は実験例の実験結果のグラフであり、図 7 A は光路長が最小の場合のグラフ、図 7 B は光路長が最大の場合のグラフである。

【図 8】図 8 は本発明の実施例 2 のパルス幅制御装置の要部説明図である。

【符号の説明】

【0042】

- 1 ... レーザー照射装置、
- 2 ... フェムト秒レーザー光源、
- 3 ... フェムト秒レーザー光、
- 3 a , 3 b ... 光路、
- 4 , 4 ... パルス幅制御装置、
- 1 1 ... 第 1 のプリズム移動装置、
- 1 2 ... 第 2 のプリズム移動装置、
- 1 3 , 1 3 ... 素子移動装置、
- 1 8 ... 第 1 プリズム、
- 1 8 , 1 9 , 2 3 , 2 4 ... レーザー光透過素子、

10

20

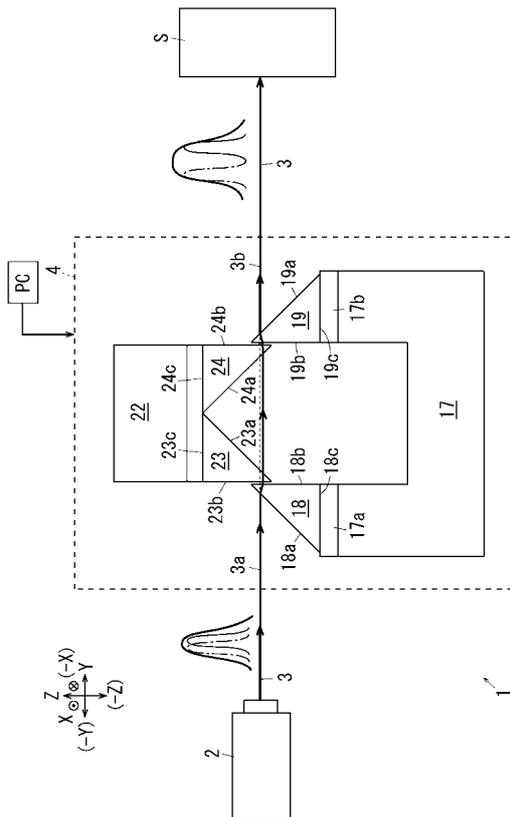
30

40

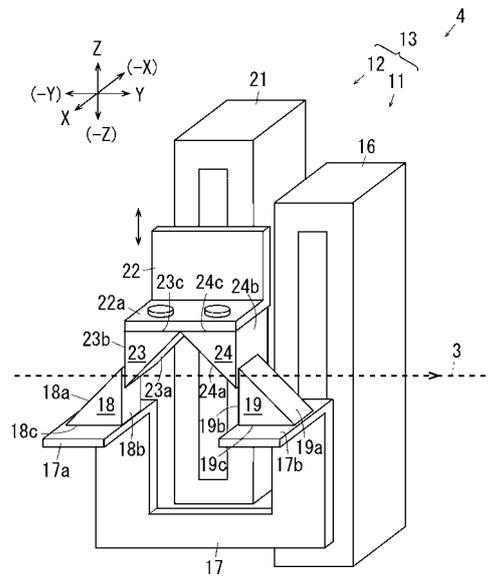
50

18 a , 19 b , 23 b , 24 a ... 入射辺、
18 b , 19 a , 23 a , 24 b ... 出射辺、
19 ... 第 4 プリズム、
23 ... 第 2 プリズム、
24 ... 第 3 プリズム、
P C ... パルス幅制御手段。

【 図 1 】

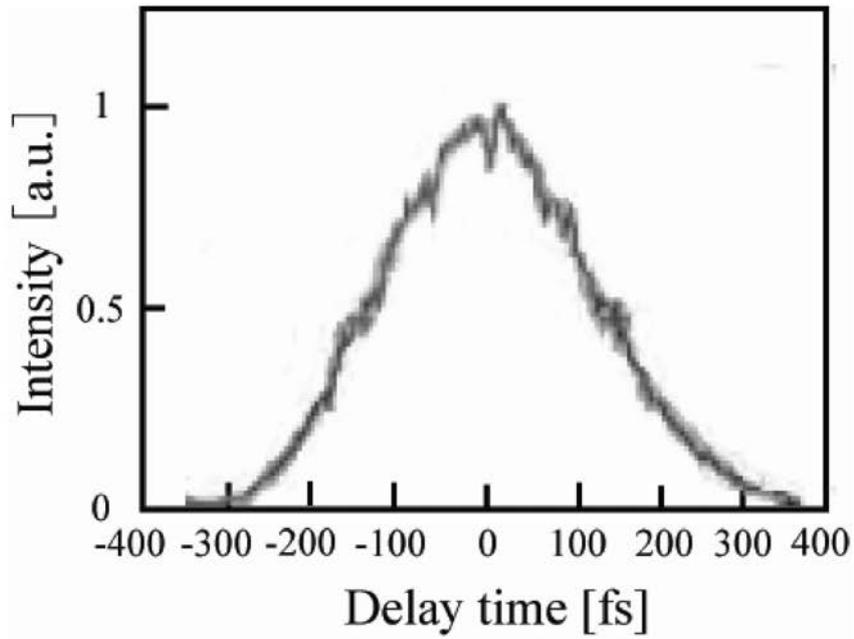


【 図 2 】

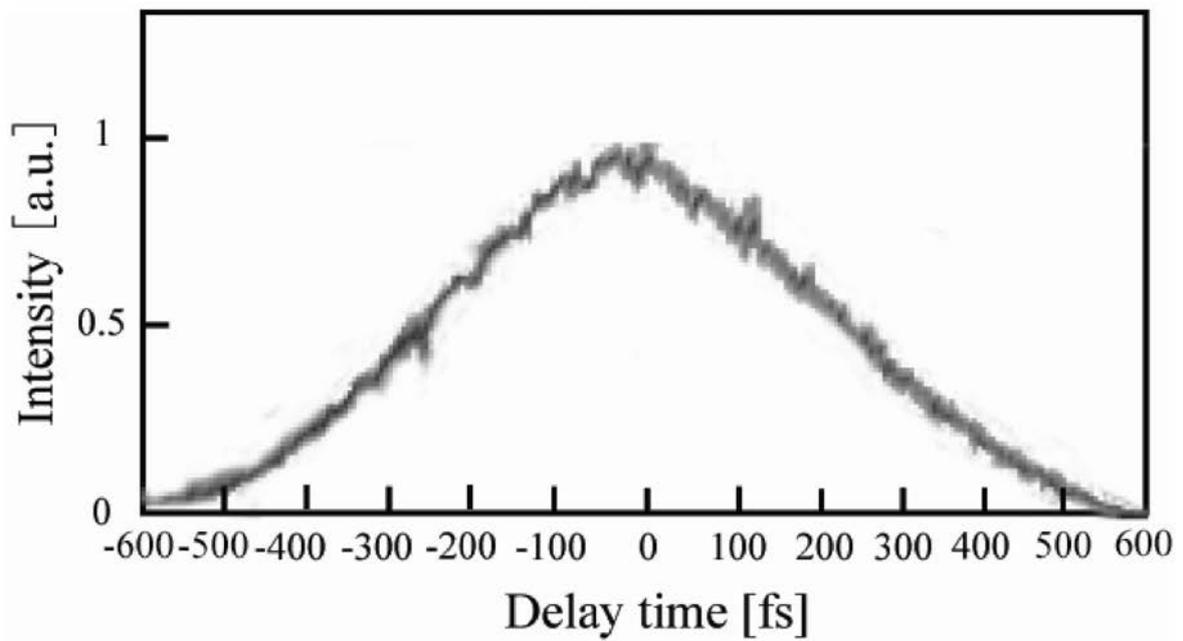


【 図 7 】

(図 7 A)



(図 7 B)



フロントページの続き

(58)調査した分野(Int.Cl. , DB名)

G 0 2 B 2 6 / 0 0 - 2 6 / 0 6

H 0 1 S 3 / 1 0