

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 公開特許公報(A)

(11) 特許出願公開番号

特開2006-126168
(P2006-126168A)

(43) 公開日 平成18年5月18日(2006.5.18)

(51) Int. Cl.
G01S 17/10 (2006.01)

F I
G O I S 17/10

テーマコード(参考)
5 J O 8 4

審査請求 未請求 請求項の数 17 O L (全 16 頁)

(21) 出願番号	特願2005-177482 (P2005-177482)	(71) 出願人	504139662 国立大学法人名古屋大学 愛知県名古屋市千種区不老町1番
(22) 出願日	平成17年6月17日(2005.6.17)	(74) 代理人	110000017 特許業務法人アイテック国際特許事務所
(31) 優先権主張番号	特願2004-286458 (P2004-286458)	(72) 発明者	西澤 典彦 愛知県名古屋市千種区不老町1番 国立大 学法人名古屋大学内
(32) 優先日	平成16年9月30日(2004.9.30)	(72) 発明者	後藤 俊夫 愛知県名古屋市千種区不老町1番 国立大 学法人名古屋大学内
(33) 優先権主張国	日本国(JP)	Fターム(参考)	5J084 AA05 AD01 AD08 BA03 BA48 BA51 BB14 BB24 BB28 BB31 CA03 CA07 DA01 DA08 EA04

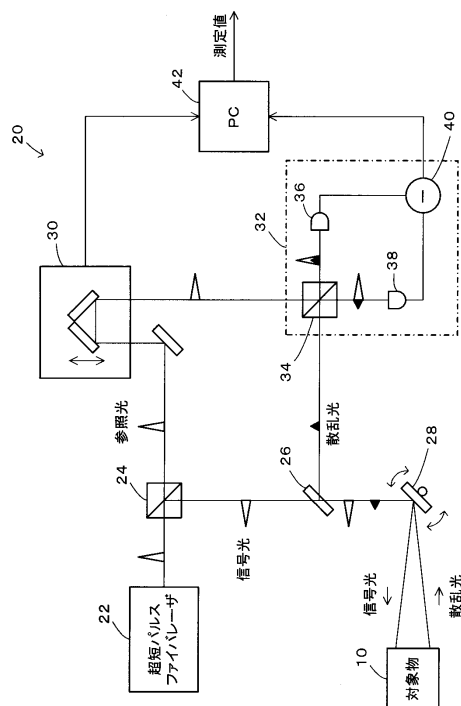
(54) 【発明の名称】 距離測定装置および距離測定方法

(57) 【要約】

【課題】 対象物までの距離を高い精度で迅速に測定する。

【解決手段】 超短パルスファイバレーザ22からのパルス光を光分岐器24により参照光Aと信号光とに分岐し、信号光についてはスキャニングミラー装置28により対象物10に照射してその反光である散乱光を受光し、参照光Aについては光路長調整部30により光路長を変更する。そして、光路長が変更された参照光Aと散乱光Bとの干渉の程度を干渉信号として差動検出器40により検出し、干渉信号が最大となる光路長に対応する光路長調整部30の調整値からスキャニングミラー装置28から対象物10までの距離を演算することにより、対象物10のパルス光が照射された位置までの距離を測定する。

【選択図】 図1



【特許請求の範囲】**【請求項 1】**

対象物までの距離を測定する距離測定装置であって、
短い間隔でパルス光を発生する短パルス光源と、
該短パルス光源からのパルス光を信号光と参照光とに分岐する光分岐手段と、
該光分岐手段により分岐された信号光を前記対象物に照射すると共に該対象物から該信号光の照射により反射される散乱光を受光する照射受光手段と、
前記光分岐手段により分岐された参照光を入力すると共に伝搬時間を調整して出力する伝搬時間調整手段と、
前記伝搬時間調整手段により伝搬時間が調整された参照光と前記照射受光手段により受光された散乱光との重ね合わせに基づいて干渉信号を生成する干渉信号生成手段と、
前記伝搬時間調整手段により調整された伝搬時間と前記干渉信号生成手段により生成された干渉信号とに基づいて前記信号光の照射地点から前記対象物までの距離を演算する距離演算手段と、
を備える距離測定装置。

【請求項 2】

前記伝搬時間調整手段は、前記参照光の光路長を調整することにより伝搬時間を調整する手段である請求項 1 記載の距離測定装置。

【請求項 3】

請求項 1 記載の距離測定装置であって、
前記短パルス光源からのパルス光の波長を変更する波長変更手段を備え、
前記光分岐手段は、前記波長変更手段により波長が変更されたパルス光を前記信号光と前記参照光とに分岐する手段であり、
前記伝搬時間調整手段は、前記参照光の波長に応じて伝搬時間を調整する手段である距離測定装置。

【請求項 4】

前記波長変更手段は、前記短パルス光源からのパルス光の強度を調整する強度調整部と、入力されたパルス光の強度に応じて波長を変更してパルス光を出力する波長変更部と、を有する手段である請求項 3 記載の距離測定装置。

【請求項 5】

請求項 4 記載の距離測定装置であって、
前記強度調整部は、音響光学変調器であり、
前記波長変更部、偏波保持型の光ファイバである距離測定装置。

【請求項 6】

前記波長変更手段は、前記短パルス光源のパルス間隔に比して長い周期をもって順次波長を変更する手段である請求項 3 ないし 5 いずれか記載の距離測定装置。

【請求項 7】

前記伝搬時間調整手段は、偏波保持型の光ファイバを有する手段である請求項 3 ないし 6 いずれか記載の距離測定装置。

【請求項 8】

前記伝搬時間調整手段は、前記光ファイバに入力される参照光の光路長または前記光ファイバから出力された参照光の光路長を調整する光路長調整手段を有する手段である請求項 7 記載の距離測定装置。

【請求項 9】

前記距離演算手段は、前記伝搬時間に代えて前記参照光の波長を用いて前記信号光の照射地点から前記対象物までの距離を演算する手段である請求項 3 ないし 8 いずれか記載の距離測定装置。

【請求項 10】

前記干渉信号生成手段は、前記参照光と前記散乱光とを重ね合わせて分岐して得られる

二つの信号に対して差動検出することにより干渉信号を生成する手段である請求項 1 ないし 9 いずれか記載の距離測定装置。

【請求項 1 1】

前記短パルス光源は、出力パルスの中心波長が 1 5 6 0 n m 近傍でパルス幅がピコ秒ないしフェムト秒単位のパルス光を出力することを特徴とする請求項 1 ないし 1 0 いずれか記載の距離測定装置。

【請求項 1 2】

前記照射受光手段は、前記信号光により所定範囲内が走査されるよう該信号光を照射する手段である請求項 1 ないし 1 1 いずれか記載の距離測定装置。

【請求項 1 3】

請求項 1 ないし 1 2 いずれか記載の距離測定装置であって、
前記伝搬時間調整手段により伝搬時間が調整された参照光を所定の周波数帯の変調光に変調する変調手段を備え、
前記干渉信号生成手段は、前記変調された変調光を前記参照光として用いて干渉信号を生成する手段である
距離測定装置。

10

【請求項 1 4】

前記変調手段は、音響光学変調器または電気光学変調器である請求項 1 3 記載の距離測定装置。

【請求項 1 5】

前記距離演算手段は、前記生成された干渉信号のうち前記所定の周波数帯の信号を通過するバンドパスフィルタと、該バンドパスフィルタを通過した信号を 2 乗検波する 2 乗検波部とを有し、該 2 乗検波された信号に基づいて前記信号光の照射地点から前記対象物までの距離を演算する手段である請求項 1 3 または 1 4 記載の距離測定装置。

20

【請求項 1 6】

対象物までの距離を測定する距離測定方法であって、
短い間隔のパルス光を信号光と参照光とに分岐し、
該分岐した信号光を前記対象物に照射すると共に該対象物から該信号光の照射により反射される散乱光を受光し、
前記分岐した参照光の伝搬時間を調整し、
該伝搬時間が調整した参照光と前記受光した散乱光との重ね合わせに基づいて干渉信号を生成し、
前記調整した伝搬時間と前記生成した干渉信号とに基づいて前記信号光の照射地点から前記対象物までの距離を演算する
距離測定方法。

30

【請求項 1 7】

対象物までの距離を測定する距離測定方法であって、
短い間隔のパルス光の波長を変更し、
該波長を変更したパルス光を信号光と参照光とに分岐し、
該分岐した信号光を前記対象物に照射すると共に該対象物から該信号光の照射により反射される散乱光を受光し、
前記分岐した参照光の波長に応じて伝搬時間を調整し、
該伝搬時間が調整した参照光と前記受光した散乱光との重ね合わせに基づいて干渉信号を生成し、
前記調整した伝搬時間または前記参照光の波長と前記生成した干渉信号とに基づいて前記信号光の照射地点から前記対象物までの距離を演算する
距離測定方法。

40

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0 0 0 1】

50

本発明は、距離測定装置および距離測定方法に関し、詳しくは、対象物までの距離を測定する距離測定装置および距離測定方法に関する。

【背景技術】

【0002】

従来、この種の距離測定手法としては、画像処理を用いて対象物までの距離を測定するものが考えられている。この手法では、異なる2方向から撮影した対象物の画像を撮影方向を用いて画像処理することにより、基準位置から対象物の表面までの距離を演算している。

【0003】

また、短い間隔のパルス光に関する技術としては、パルス光の強度に応じてパルス光の波長を変更するものが提案されている（例えば、特許文献1参照）。この技術は、偏波保持型の光ファイバが光の強度に応じて波長を変更する特性に基づく。

【特許文献1】特許第3390755号公報

【発明の開示】

【発明が解決しようとする課題】

【0004】

しかしながら、上述の画像処理を用いて対象物までの距離を測定する手法では、画像を撮影すると共に撮影した画像に対して画像処理を行なうため、対象物までの距離を測定するまでに時間を要してしまう。こうした測定までの時間を短縮するために画像処理の程度を落として演算を簡易なものとするれば、測定精度の低下を招いてしまう。また、画像の撮影位置の調整などが伴うため、対象物までの距離の測定に高い精度を求めることができない。

【0005】

本発明の距離測定装置および距離測定方法は、対象物までの距離を迅速に測定することを目的の一つとする。また、本発明の距離測定装置および距離測定方法は、対象物までの距離を高い精度で測定することを目的の一つとする。

【課題を解決するための手段】

【0006】

本発明の距離測定装置および距離測定方法は、上述の目的の少なくとも一部を達成するために以下の手段を採った。

【0007】

本発明の距離測定装置は、
対象物までの距離を測定する距離測定装置であって、
短い間隔でパルス光を発生する短パルス光源と、
該短パルス光源からのパルス光を信号光と参照光とに分岐する光分岐手段と、
該光分岐手段により分岐された信号光を前記対象物に照射すると共に該対象物から該信号光の照射により反射される散乱光を受光する照射受光手段と、
前記光分岐手段により分岐された参照光を入力すると共に伝搬時間を調整して出力する伝搬時間調整手段と、
前記伝搬時間調整手段により伝搬時間が調整された参照光と前記照射受光手段により受光された散乱光との重ね合わせに基づいて干渉信号を生成する干渉信号生成手段と、
前記伝搬時間調整手段により調整された伝搬時間と前記干渉信号生成手段により生成された干渉信号とに基づいて前記信号光の照射地点から前記対象物までの距離を演算する距離演算手段と、
を備えることを要旨とする。

【0008】

この本発明の距離測定装置では、短い間隔のパルス光を分岐した信号光を対象物に照射すると共に対象物から信号光の照射により反射される散乱光を受光する。一方、短い間隔のパルス光を分岐した参照光の伝搬時間を調整する。そして、この伝搬時間を調整した参照光と受光した散乱光との重ね合わせに基づいて干渉信号を生成し、調整した伝搬時間と

10

20

30

40

50

生成した干渉信号とに基づいて信号光の照射地点から対象物までの距離を演算する。パルス光の直進性と高速性を用いて照射地点から対象物までの距離を演算するから、対象物までの距離を高い精度で迅速に測定することができる。

【0009】

こうした本発明の距離測定装置において、前記伝搬時間調整手段は、前記参照光の光路長を調整することにより伝搬時間を調整する手段であるものとするともできる。この場合、対象物までの距離の演算を伝搬時間に代えて光路長を用いて行なうこともできる。

【0010】

また、本発明の距離測定装置において、前記短パルス光源からのパルス光の波長を変更する波長変更手段を備え、前記光分岐手段は前記波長変更手段により波長が変更されたパルス光を前記信号光と前記参照光とに分岐する手段であり、前記伝搬時間調整手段は前記参照光の波長に応じて伝搬時間を調整する手段であるものとするともできる。こうすれば、パルス光の波長を変更するだけで伝搬時間を調整することができるから、干渉の程度が大きな干渉信号が得られるパルス光の波長に対応する伝搬時間を用いて対象物までの距離を高い精度で迅速に測定することができる。

10

【0011】

この波長変更手段を備える態様の本発明の距離測定装置において、前記波長変更手段は、前記短パルス光源からのパルス光の強度を調整する強度調整部と、入力されたパルス光の強度に応じて波長を変更してパルス光を出力する波長変更部と、を有する手段であるものとするともできる。この場合、前記強度調整部は音響光学変調器であり、前記波長変更部偏波保持型の光ファイバであるものとするともできる。

20

【0012】

また、波長変更手段を備える態様の本発明の距離測定装置において、前記波長変更手段は、前記短パルス光源のパルス間隔に比して長い周期をもって順次波長を変更する手段であるものとするともできる。こうすれば、短パルス光源のパルス間隔に比して長い周期をもって繰り返しパルス光の波長を自動的に変更することができる。この結果、自動的に対象物までの距離を高い精度で迅速に測定することができる。

【0013】

さらに、波長変更手段を備える態様の本発明の距離測定装置において、前記伝搬時間調整手段は偏波保持型の光ファイバを有する手段であるものとするともできる。こうすれば、光ファイバに参照光を導入するだけで波長に応じた伝搬時間とすることができる。この場合、前記伝搬時間調整手段は、前記光ファイバに入力される参照光の光路長または前記光ファイバから出力された参照光の光路長を調整する光路長調整手段を有する手段であるものとするともできる。こうすれば、参照光の光路長を調整することができるから、対象物までの測定を更に容易なものとするともできる。

30

【0014】

また、波長変更手段を備える態様の本発明の距離測定装置において、前記距離演算手段は、前記伝搬時間に代えて前記参照光の波長を用いて前記信号光の照射地点から前記対象物までの距離を演算する手段であるものとするともできる。

【0015】

本発明の距離測定装置において、前記干渉信号生成手段は、前記参照光と前記散乱光とを重ね合わせて分岐して得られる二つの信号に対して差動検出することにより干渉信号を生成する手段であるものとするともできる。また、本発明の距離測定装置において、前記短パルス光源は、出力パルスの中心波長が1560nm近傍でパルス幅がピコ秒ないしフェムト秒単位のパルス光を出力することを特徴とするものとするともできる。

40

【0016】

本発明の距離測定装置において、前記照射受光手段は、前記信号光により所定範囲内が走査されるよう該信号光を照射する手段であるものとするともできる。こうすれば、所定範囲内の対象物までの距離を自動的に測定することができる。この結果、対象物の表面の凹凸を高い精度で迅速によく測定すること、即ち対象物の3次元計測を高い精度で迅

50

速に行なうことができる。

【0017】

本発明の距離測定装置において、前記伝搬時間調整手段により伝搬時間が調整された参照光を所定の周波数帯の変調光に変調する変調手段を備え、前記干渉信号生成手段は、前記変調された変調光を前記参照光として用いて干渉信号を生成する手段であるものとすることもできる。こうすれば、より適正に干渉信号を生成することができる。この場合、前記変調手段は、音響光学変調器または電気光学変調器であるものとすることもできる。

【0018】

この変調手段を備える態様の本発明の距離測定装置において、前記距離演算手段は、前記生成された干渉信号のうち前記所定の周波数帯の信号を通過するバンドパスフィルタと、該バンドパスフィルタを通過した信号を2乗検波する2乗検波部とを有し、該2乗検波された信号に基づいて前記信号光の照射地点から前記対象物までの距離を演算する手段であるものとすることもできる。こうすれば、より適正に信号光の照射地点から対象物までの距離を演算することができる。

10

【0019】

本発明の第1の距離測定方法は、
対象物までの距離を測定する距離測定方法であって、
短い間隔のパルス光を信号光と参照光とに分岐し、
該分岐した信号光を前記対象物に照射すると共に該対象物から該信号光の照射により反射される散乱光を受光し、
前記分岐した参照光の伝搬時間を調整し、
該伝搬時間が調整した参照光と前記受光した散乱光との重ね合わせに基づいて干渉信号を生成し、
前記調整した伝搬時間と前記生成した干渉信号とに基づいて前記信号光の照射地点から前記対象物までの距離を演算することを要旨とする。

20

【0020】

この本発明の第1の距離測定方法では、短い間隔のパルス光を分岐した信号光を対象物に照射すると共に対象物から信号光の照射により反射される散乱光を受光する。一方、短い間隔のパルス光を分岐した参照光の伝搬時間を調整する。そして、この伝搬時間を調整した参照光と受光した散乱光との重ね合わせに基づいて干渉信号を生成し、調整した伝搬時間と生成した干渉信号とに基づいて信号光の照射地点から対象物までの距離を演算する。パルス光の直進性と高速性とを用いて照射地点から対象物までの距離を演算するから、対象物までの距離を高い精度で迅速に測定することができる。

30

【0021】

また、本発明の第2の距離測定方法は、
対象物までの距離を測定する距離測定方法であって、
短い間隔のパルス光の波長を変更し、
該波長を変更したパルス光を信号光と参照光とに分岐し、
該分岐した信号光を前記対象物に照射すると共に該対象物から該信号光の照射により反射される散乱光を受光し、
前記分岐した参照光の波長に応じて伝搬時間を調整し、
該伝搬時間が調整した参照光と前記受光した散乱光との重ね合わせに基づいて干渉信号を生成し、
前記調整した伝搬時間または前記参照光の波長と前記生成した干渉信号とに基づいて前記信号光の照射地点から前記対象物までの距離を演算することを要旨とする。

40

【0022】

この本発明の第2の距離測定法では、短い間隔のパルス光の波長を変更し、波長を変更したパルス光を信号法と参照光とに分岐する。分岐した信号光については対象物に照射す

50

ると共に対象物から信号光の照射により反射される散乱光を受光する。参照光についてはその波長に応じて伝搬時間を調整する。この伝搬時間を調整した参照光と受光した散乱光との重ね合わせに基づいて干渉信号を生成し、調整した伝搬時間や参照光の波長と生成した干渉信号とに基づいて信号光の照射地点から対象物までの距離を演算する。パルス光の直進性と高速性を用いて照射地点から対象物までの距離を演算するから、対象物までの距離を高い精度で迅速に測定することができる。

【発明を実施するための最良の形態】

【0023】

次に、本発明を実施するための最良の形態を実施例を用いて説明する。

【実施例1】

【0024】

図1は、本発明の一実施例としての距離測定装置20の構成の概略を示す構成図である。実施例の距離測定装置20は、図示するように、パルス幅がピコ秒からフェムト秒単位のパルス光を生成する超短パルスファイバレーザ22と、超短パルスファイバレーザ22からのパルス光を信号光と参照光Aとに分岐する光分岐器24と、光分岐器24により分岐された信号光を対象物10に走査して照射すると共に信号光の照射に伴って対象物10から反射される散乱光Bを受光するスキャニングミラー装置28と、光分岐器24により分岐された参照光Aの光路長を調整する光路長調整部30と、光路長調整部30からの参照光Aとスキャニングミラー装置28からの散乱光Bとに基づいて干渉信号を出力する干渉信号出力器32と、光路長調整部30からの光路長の調整値と干渉信号出力器32からの干渉信号とに基づいてスキャニングミラー装置28から対象物10までの距離を演算する演算部としてのコンピュータ42と、を備える。なお、光分岐器24とスキャニングミラー装置28との間には光分岐器24側からの信号光は透過するがスキャニングミラー装置28側からの散乱光Bは反射する半透過ミラー26が設けられている。

【0025】

超短パルスファイバレーザ22としては、実施例では、パルス光の波長が1560nm、パルス幅(時間幅)が141フェムト秒(fs)、パルス光の繰り返し周波数が48MHz、平均出力が38mWの超短パルス光を安定して生成するものを用いたが、こうした性能に限定されるものではなく、例えば、パルス幅(時間幅)がフェムト秒(fs)単位のものやミリ秒(ms)単位のものを用いてもよし、パルス光の繰り返し周波数がMHz単位のものやkHz単位のもの、或いはGHz単位のものを用いてもよい。

【0026】

スキャニングミラー装置28としては、実施例では、方位角2,560,000パルス/度で仰角が921,600パルス/度の分解能を有する2軸回転スキャナを用いたが、こうした性能に限定されるものではない。また、光路長調整部30としては、例えば複数のミラーを備える多重反射式のものなどを持ちいることができる。

【0027】

干渉信号出力器32は、光路長調整部30からの参照光Aとスキャニングミラー装置28からの散乱光Bとを重ね合わせるにより数式上の参照光Aと散乱光Bとの和光(A+B)と参照光Aと散乱光Bとの差光(A-B)とを調整する和差光調整部34と、数式上の参照光Aと散乱光Bとの和光(A+B)や差光(A-B)を入力すると共に入力した光の電界振幅の2乗を出力する光検出器36,38と、光検出器36,38からの出力(A+B)², (A-B)²の差分(4AB)を干渉信号として出力する差動検出器40と、から構成されている。

【0028】

演算部としてのコンピュータ42は、光路長調整部30により参照光Aの光路長を順次変更したときに差動検出器40から出力される干渉信号が最大となる光路長に対応する光路長調整部30の調整値を割り出し、この調整値からスキャニングミラー装置28の基準位置(例えばパルス光の照射用のミラー)から対象物10までの距離を演算する。なお、調整値としては、光路長に対応するものやこの光路長をパルス光が伝搬する伝搬時間に対

10

20

30

40

50

応するものとすることができる。

【0029】

次に、こうして構成された実施例の距離測定装置20の動作について説明する。超短パルスファイバレーザ22からパルス光が発射されると、パルス光は光分岐器24により参照光Aと信号光とに分岐される。信号光は半透過ミラー26を透過してスキャニングミラー装置28により対象物10に照射される。信号光の対象物10への照射に伴って対象物10から散乱光が反射されるが、この散乱光の一部はスキャニングミラー装置28を介して半透過ミラー26で反射され、干渉信号出力器32に導入される。一方、参照光Aは、光路長調整部30により光路長が変更されることにより光路長調整部30から出力されるまでの時間(光路長調整部30における伝搬時間)が調整されて干渉信号出力器32に導入される。干渉信号出力器32に導入された参照光Aと散乱光Bは、重ね合わせにより数式上の和光(A+B)と差光(A-B)とに調整され、光検出器36,38によりその2乗が出力され、更なるその差分が干渉信号として差動検出器40から出力される。干渉信号の一例を図2に示す。上述したように、演算部としてのコンピュータ42は、光路長調整部30によって順次光路長を変更し、差動検出器40から出力される干渉信号が最大となる光路長に対応する光路長調整部30の調整値を割り出し、この調整値からスキャニングミラー装置28の基準位置(例えばパルス光の照射用のミラー)から対象物10までの距離を演算することにより、対象物10のパルス光が照射された位置までの距離を測定する。図2の例では、信号強度のピークを用いてその距離が演算されることになる。このように直進性と高速性とを有するパルス光を用いて対象物10までの距離を測定するから、対象物10までの距離を高い精度で迅速に測定することができる。実施例では、こうした一連の測定動作を対象物10の全表面に亘ってパルス光により走査されるようスキャニングミラー装置28の方位角と仰角を順次変更する。これにより、対象物10の全表面をスキャニングミラー装置28の分解能の範囲でスキャニングミラー装置28の基準位置からの距離として測定することができる。即ち、対象物10の全表面を3次元測定することができるのである。しかも、実施例では、超短パルスファイバレーザ22からのパルス光を用いて測定するから、スキャニングミラー装置28による対象物10の全表面の走査も短時間で終了することができる。したがって、対象物10の全表面を迅速に高い精度で3次元測定することができる。

【0030】

以上説明した実施例の距離測定装置20によれば、直進性と高速性とを有するパルス光を用いて対象物10までの距離を測定するから、対象物10までの距離を高い精度で迅速に測定することができる。また、対象物10の全表面をスキャニングミラー装置28の分解能の範囲でスキャニングミラー装置28の基準位置からの距離として測定することができる。しかも、超短パルスファイバレーザ22からのパルス光を用いて測定するから、スキャニングミラー装置28による対象物10の全表面の走査も短時間で終了することができる。対象物10の全表面を高い精度で迅速に3次元測定することができる。

【実施例2】

【0031】

次に、本発明の第2の実施例としての距離測定装置20Bについて説明する。図3は、第2実施例の距離測定装置20Bの構成の概略を示す構成図である。第2実施例の距離測定装置20Bは、超短パルスファイバレーザ22と光分岐器24との間に超短パルスファイバレーザ22からのパルス光の波長を変更する波長変更部23を備える点と、光路長調整部30に代えて伝搬時間調整用光ファイバ31を備える点と、コンピュータ42が光路長調整部30からの調整値に代えて波長変更部23からの強度信号に基づいて対象物10までの距離を演算する点と、を除いて距離測定装置20と同一の構成をしている。したがって、第2実施例の距離測定装置20Bの構成のうち第1実施例の距離測定装置20の構成と同一の構成については同一の符号を付し、その説明を省略する。

【0032】

第2実施例の距離測定装置20Bが備える波長変更部23は、超短パルスファイバレー

ザ 2 2 からのパルス光の強度を変調する変調器 2 3 a と、パルス光の強度に応じてパルス光の波長を変更する波長変更用光ファイバ 2 3 b とから構成されている。変調器 2 3 a は、実施例では、変調帯域幅 1 . 8 M H z で透過率 7 5 % 以上の音響光学変調器を用い、パルス光の強度が周期 1 0 k H z のノコギリ波となるよう調整されており、パルスの強度がパルス光の波長の調整値としてコンピュータ 4 2 に出力されている。変調器 2 3 a のパルス光の強度と時間との関係の一例を図 4 に示す。なお、変調器 2 3 a は上述の性能の音響光学変調器に限られず、異なる性能の音響光学変調器を用いるものとしてもよく、また、超短パルスファイバレーザ 2 2 からのパルス光の強度を変調することができるものであれば音響光学変調器以外のものを用いるものとしてもかまわない。波長変更用光ファイバ 2 3 b は、実施例では、細径偏波保持ファイバ（コア径 8 . 1 μ m , 長さ 1 0 0 m ）を用いた。パルス光の強度に応じてパルス光の波長が変更される原理等については、本発明の発明者が以前発明した特願平 1 0 - 2 7 5 6 0 4 に詳述されており、本発明ではその原理を用いている。しかし、その原理等が本発明の中核となるものではないため、これ以上の詳細な説明は省略する。なお、波長変更用光ファイバ 2 3 b は細径偏波保持ファイバに限られず、パルス光の強度に応じてパルス光の波長を変更することができる光ファイバであれば、如何なる光ファイバを用いるものとしてもよいし、光ファイバ以外のものを用いるものとしてもよい。

10

【 0 0 3 3 】

伝搬時間調整用光ファイバ 3 1 は、パルス光の波長に応じて入力から出力までの時間（伝搬時間）を変化させることができる光ファイバであり、実施例では、偏波保持分散シフトファイバ（長さ 1 0 0 m ）を用いた。パルス光の波長と伝搬時間との関係の一例を図 5 に示す。なお、伝搬時間調整用光ファイバ 3 1 は、偏波保持分散シフトファイバに限られず、パルス光の波長に応じて入力から出力までの時間（伝搬時間）を変化させることができる光ファイバであれば、如何なる光ファイバを用いるものとしてもよいし、光ファイバ以外のものを用いるものとしてもよい。

20

【 0 0 3 4 】

次に、こうして構成された第 2 実施例の距離測定装置 2 0 B の動作について説明する。超短パルスファイバレーザ 2 2 からパルス光が発射されると、パルス光は変調器 2 3 a によりその強度が調整されると共に波長変更用光ファイバ 2 3 b により強度に応じた波長に変更される。波長が変更されたパルス光は光分岐器 2 4 により参照光 A と信号光とに分岐され、信号光は半透過ミラー 2 6 を透過してスキャニングミラー装置 2 8 により対象物 1 0 に照射される。信号光の対象物 1 0 への照射に伴って対象物 1 0 から散乱光が反射されるが、この散乱光の一部はスキャニングミラー装置 2 8 を介して半透過ミラー 2 6 で反射され、干渉信号出力器 3 2 に導入される。一方、参照光 A は、伝搬時間調整用光ファイバ 3 1 により伝搬時間が調整されて干渉信号出力器 3 2 に導入される。干渉信号出力器 3 2 に導入された参照光 A と散乱光 B は、第 1 実施例で説明したように、重ね合わせにより数式上の和光（ $A + B$ ）と差光（ $A - B$ ）が調整され、光検出器 3 6 , 3 8 により 2 乗され、その差分が干渉信号として差動検出器 4 0 から出力される。

30

【 0 0 3 5 】

いま、和差光調整部 3 4 で重ね合わされる参照光 A と散乱光 B とが干渉する場合を考える。このとき、参照光 A は伝搬時間調整用光ファイバ 3 1 により伝搬時間が調整されているから、伝搬時間調整用光ファイバ 3 1 を除く光分岐器 2 4 から和差光調整部 3 4 までの参照光 A の光路長とスキャニングミラー装置 2 8 と対象物 1 0 との距離の 2 倍の距離を除く光分岐器 2 4 から和差光調整部 3 4 までの信号光および散乱光 B の光路長とが等しいとすれば、参照光 A と散乱光 B とが干渉するためには、伝搬時間調整用光ファイバ 3 1 で調整される伝搬時間が超短パルスファイバレーザ 2 2 からのパルス光の間隔の整数倍の伝搬時間にスキャニングミラー装置 2 8 から対象物 1 0 までの距離の 2 倍の空気中の距離を光が伝搬する時間を加えた時間となる必要がある。伝搬時間調整用光ファイバ 3 1 の伝搬時間はパルス光の波長によって異なるものとなるから、散乱光 B と干渉する参照光 A はスキャニングミラー装置 2 8 から対象物 1 0 までの距離によって定まる波長のパルス光となる

40

50

。即ち、スキャニングミラー装置 28 から対象物 10 までの距離によって干渉する参照光 A の波長が変わることになる。第 2 実施例では、変調器 23 a の周波数は超短パルスファイバレーザ 22 の周波数の 48 MHz より十分に小さい 10 kHz であるから、変調器 23 a の 1 周期の間に多数の同一の波長のパルス光が対象物 10 に照射されることになる。したがって、散乱光 B と干渉する参照光 A は、整数個前に光分岐器 24 により分岐された参照光 A となる。コンピュータ 42 では、波長変更部 23 により周期的にパルス光の強度を変更して周期的にパルス光の波長を変更し、干渉信号出力器 32 の差動検出器 40 から入力される干渉信号のピークに相当するパルス光の波長を変調器 23 a の強度（調整値）から求め、求めたパルス光の波長から伝搬時間調整用光ファイバ 31 の伝搬時間を求め、この伝搬時間からスキャニングミラー装置 28 の基準位置（例えばパルス光の照射用のミラー）から対象物 10 までの距離を演算する。第 2 実施例の距離測定装置 20 では、こうして対象物 10 のパルス光が照射された位置までの距離を測定するのである。第 2 実施例では、このように、波長変更部 23 によりパルス光の波長を変更すると共に伝搬時間調整用光ファイバ 31 によりパルス光の伝搬時間を調整し、散乱光 B と干渉する参照光 A の波長を特定することによりスキャニングミラー装置 28 から対象物 10 までの距離を測定するから、第 1 実施例の距離測定装置 20 のように光路長調整部 30 で光路長を調整する必要がない。第 1 実施例でも説明したが、第 2 実施例でも、このように直進性と高速性とを有するパルス光を用いて対象物 10 までの距離を測定するから、対象物 10 までの距離を高い精度で迅速に測定することができる。また第 2 実施例でも第 1 実施例と同様に、こうした一連の測定動作を対象物 10 の全表面に亘ってパルス光により走査されるようスキャニングミラー装置 28 の方位角と仰角を順次変更する。これにより、対象物 10 の全表面をスキャニングミラー装置 28 の分解能の範囲でスキャニングミラー装置 28 の基準位置からの距離として測定することができる。即ち、対象物 10 の全表面を 3 次元測定することができるのである。しかも、超短パルスファイバレーザ 22 からのパルス光を用いて測定するから、スキャニングミラー装置 28 による対象物 10 の全表面の走査も短時間で終了することができる。したがって、対象物 10 の全表面を迅速に高い精度で 3 次元測定することができる。

【0036】

以上説明した第 2 実施例の距離測定装置 20 B によれば、直進性と高速性とを有するパルス光を用いて対象物 10 までの距離を測定するから、対象物 10 までの距離を高い精度で迅速に測定することができる。しかも、波長変更部 23 によりパルス光の波長を変更すると共に伝搬時間調整用光ファイバ 31 によりパルス光の伝搬時間を調整し、散乱光 B と干渉する参照光 A の波長を特定することによりスキャニングミラー装置 28 から対象物 10 までの距離を測定するから、第 1 実施例の距離測定装置 20 のように光路長調整部 30 で光路長を調整する必要がない。また、対象物 10 の全表面をスキャニングミラー装置 28 の分解能の範囲でスキャニングミラー装置 28 の基準位置からの距離として測定することができる。さらに、超短パルスファイバレーザ 22 からのパルス光を用いて測定するから、スキャニングミラー装置 28 による対象物 10 の全表面の走査も短時間で終了することができ、対象物 10 の全表面を高い精度で迅速に 3 次元測定することができる。

【0037】

第 2 実施例の距離測定装置 20 B では、コンピュータ 42 で干渉信号出力器 32 の差動検出器 40 から入力される干渉信号のピークに相当するパルス光の波長を変調器 23 a の強度（調整値）から求め、求めたパルス光の波長から伝搬時間調整用光ファイバ 31 の伝搬時間を求め、この伝搬時間からスキャニングミラー装置 28 の基準位置（例えばパルス光の照射用のミラー）から対象物 10 までの距離を演算するものとしたが、干渉信号出力器 32 の差動検出器 40 から入力される干渉信号のピークに相当する変調器 23 a の強度を求め、この強度から伝搬時間調整用光ファイバ 31 の伝搬時間を求めてスキャニングミラー装置 28 から対象物 10 までの距離を演算するものとしてもよい。更に、伝搬時間調整用光ファイバ 31 の伝搬時間に代えて伝搬時間調整用光ファイバ 31 の伝搬時間に相当する光路長を用いて計算するものとしてもかまわない。

10

20

30

40

50

【0038】

第2実施例の距離測定装置20Bでは、伝搬時間調整用光ファイバ31によりパルス光の伝搬時間を調整するものとしたが、伝搬時間調整用光ファイバ31の前段や後段に光路長調整部30のような光路長を調整するものを備えるものとしてもよい。

【実施例3】

【0039】

次に、本発明の第3の実施例としての距離測定装置20Cについて説明する。図6は、第3実施例の距離測定装置20Cの構成の概略を示す構成図である。第3実施例の距離測定装置20Cは、伝搬時間調整用光ファイバ31と干渉信号出力器32との間に光の周波数帯をシフトさせる変調器50を備える点と、差動検出器40とコンピュータ42との間に特定の周波数帯の信号だけを通過するバンドパスフィルタ60、信号を2乗して検波する2乗検波器62、アナログ信号をデジタル信号に変換するAD変換器64を備える点と、スキャニングミラー装置28をコンピュータ42により制御している点と、を除いて第2実施例の距離測定装置20Bと同一の構成をしている。したがって、第3実施例の距離測定装置20Cの構成のうち第2実施例の距離測定装置20Bの構成と同一の構成については同一の符号を付し、その説明を省略する。

【0040】

変調器50は、実施例では入力光を27MHz帯にシフトさせる一般的な音響光学変調器により構成されている。したがって、伝搬時間調整用光ファイバ31により伝搬時間が調整された参照光Aを変調器50に入力することにより、変調器50からは27MHz帯にシフトした変調光A2が出力される。バンドパスフィルタ60は、変調光A2の周波数帯、即ち27MHz帯(27MHz±4MHz)の干渉信号は通過するが、他の周波数帯の干渉信号については通過させないフィルタとして構成されている。

【0041】

次に、こうして構成された第3実施例の距離測定装置20Cの動作について説明する。超短パルスファイバレーザ22からパルス光が発射されると、第2実施例の距離測定装置20Bと同様に、パルス光は変調器23aによりその強度が調整されると共に波長変更用光ファイバ23bにより強度に応じた波長に変更される。波長が変更されたパルス光は光分岐器24により参照光Aと信号光とに分岐され、信号光は半透過ミラー26を透過してスキャニングミラー装置28により対象物10に照射される。信号光の対象物10への照射に伴って対象物10から散乱光が反射されるが、この散乱光の一部はスキャニングミラー装置28を介して半透過ミラー26で反射され、干渉信号出力器32に導入される。一方、参照光Aは、伝搬時間調整用光ファイバ31により伝搬時間が調整され、変調器50により27MHz帯の調整光A2として干渉信号出力器32に導入される。干渉信号出力器32に導入された調整光A2と散乱光Bは、第1実施例で説明したように、重ね合わせにより数式上の和光(A2+B)と差光(A2-B)が調整され、光検出器36、38により2乗され、その差分が干渉信号として差動検出器40から出力される。差動検出器40から出力された干渉信号は、バンドパスフィルタ60により27MHz帯の信号だけが取り出され、2乗検波器62により2乗検波され、AD変換器64で変換されてコンピュータ42に入力される。バンドパスフィルタ60を通過した干渉信号の一例を図7に示し、2乗検波器62からの出力の一例を図8に示す。コンピュータ42では、AD変換された信号のピークに相当するパルス光の波長を変調器23aの強度(調整値)から求め、求めたパルス光の波長から伝搬時間調整用光ファイバ31の伝搬時間を求め、この伝搬時間からスキャニングミラー装置28の基準位置(例えばパルス光の照射用のミラー)から対象物10までの距離を演算する。第3実施例の距離測定装置20Cにより3次元測定した一例を図9に示す。この例では10μmの分解能で3次元測定されている。

【0042】

以上説明した第3実施例の距離測定装置20Cによれば、伝搬時間調整用光ファイバ31により伝搬時間が調整された参照光Aを変調器50により27MHz帯にシフトした変調光A2を用いて干渉信号を生成し、得られた干渉信号を変調光A2の周波数帯(27M

H z 帯) を通過するバンドパスフィルタ 60 を通過させたものを用いてスキャニングミラー装置 28 の基準位置 (例えばパルス光の照射用のミラー) から対象物 10 までの距離を演算するから、より適正に距離を測定することができる。もとより、直進性と高速性とを有するパルス光を用いて対象物 10 までの距離を測定するから、対象物 10 までの距離を高い精度で迅速に測定することができる。しかも、波長変更部 23 によりパルス光の波長を変更すると共に伝搬時間調整用光ファイバ 31 によりパルス光の伝搬時間を調整し、散乱光 B と干渉する変調光 A 2 の波長を特定することによりスキャニングミラー装置 28 から対象物 10 までの距離を測定するから、第 1 実施例の距離測定装置 20 のように光路長調整部 30 で光路長を調整する必要がない。また、対象物 10 の全表面をスキャニングミラー装置 28 の分解能の範囲でスキャニングミラー装置 28 の基準位置からの距離として測定することができる。さらに、超短パルスファイバレーザ 22 からのパルス光を用いて測定するから、スキャニングミラー装置 28 による対象物 10 の全表面の走査も短時間で終了することができ、対象物 10 の全表面を高い精度で迅速に 3 次元測定することができる。

【0043】

第 3 実施例の距離測定装置 20 C では、変調器 50 として参照光 A を 27 MHz 帯にシフトさせる音響光学変調器を用いたが、シフトさせる周波数帯は 27 MHz に限定されるものではなく、如何なる周波数帯にシフトさせる音響光学変調器を用いるものとしてもよい。この場合、バンドパスフィルタ 60 もシフトさせる周波数帯に応じたものを用いればよい。また、変調器 50 として音響光学変調器に限定されるものでもなく、例えば、電気光学変調器を用いるものとしても構わない。特に、シフトさせる周波数帯を可変とすることができる変調器を用いれば、シフトさせる周波数帯を適正に調整することにより、より高い精度で 3 次元測定することができる。

【0044】

第 3 実施例の距離測定装置 20 C では、第 2 実施例の距離測定装置 20 B の構成に変調器 50 やバンドパスフィルタ 60 , 2 乗検波器 62 , A D 変換器 64 を付加した構成としたが、こうした変調器 50 やバンドパスフィルタ 60 , 2 乗検波器 62 , A D 変換器 64 を第 1 実施例の距離測定装置 20 に付加した構成としても構わない。

【0045】

以上、本発明を実施するための最良の形態について実施例を用いて説明したが、本発明はこうした実施例に何等限定されるものではなく、本発明の要旨を逸脱しない範囲内において、種々なる形態で実施し得ることは勿論である。

【産業上の利用可能性】

【0046】

本発明は、距離測定装置の製造産業に利用可能である。

【図面の簡単な説明】

【0047】

【図 1】第 1 実施例の距離測定装置 20 の構成の概略を示す構成図。

【図 2】干渉信号の一例を示す説明図。

【図 3】第 2 実施例の距離測定装置 20 B の構成の概略を示す構成図。

【図 4】変調器 23 a のパルス光の強度と時間との関係の一例を示す説明図。

【図 5】パルス光の波長と伝搬時間との関係の一例を示す説明図。

【図 6】第 3 実施例の距離測定装置 20 C の構成の概略を示す構成図。

【図 7】バンドパスフィルタ 60 を通過した干渉信号の一例を示す説明図。

【図 8】2 乗検波器 62 からの出力の一例を示す説明図。

【図 9】第 3 実施例の距離測定装置 20 C による測定結果の一例を示す説明図。

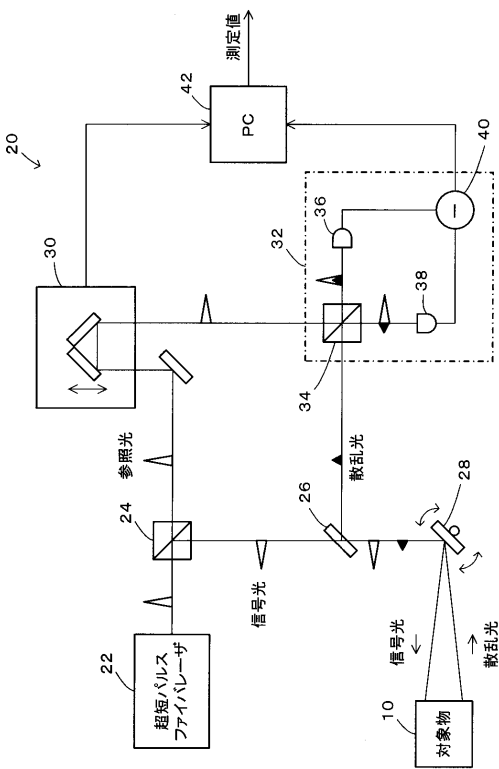
【符号の説明】

【0048】

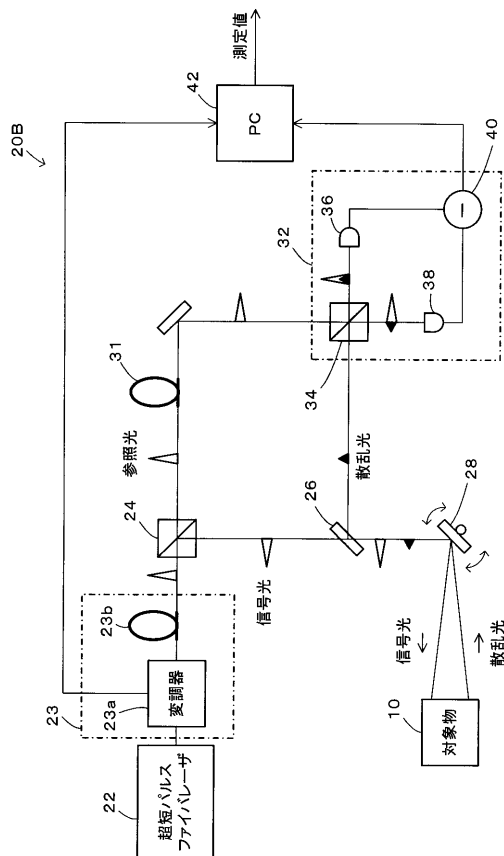
10 対象物、20, 20 B, 20 C 距離測定装置、22 超短パルスファイバレーザ、23 波長変更部、23 a 変調器、23 b 波長変更用光ファイバ、24 光分岐

器、26 半透過ミラー、28 スキャニングミラー装置、30 光路長調整部、31 伝搬時間調整用光ファイバ、32 干渉信号出力器、34 和差光調整部、36, 38 光検出器、40 差動検出器、42 コンピュータ、50 変調器、60 バンドパスフィルタ、62 乗検波器、64 A/D変換器。

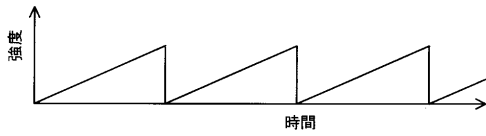
【図1】



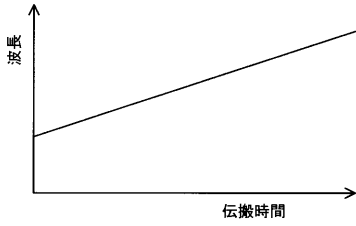
【図3】



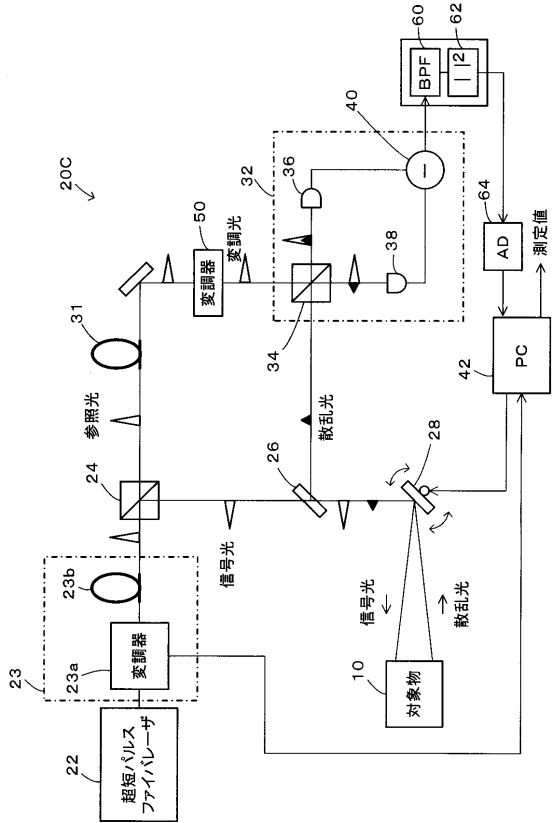
【 図 4 】



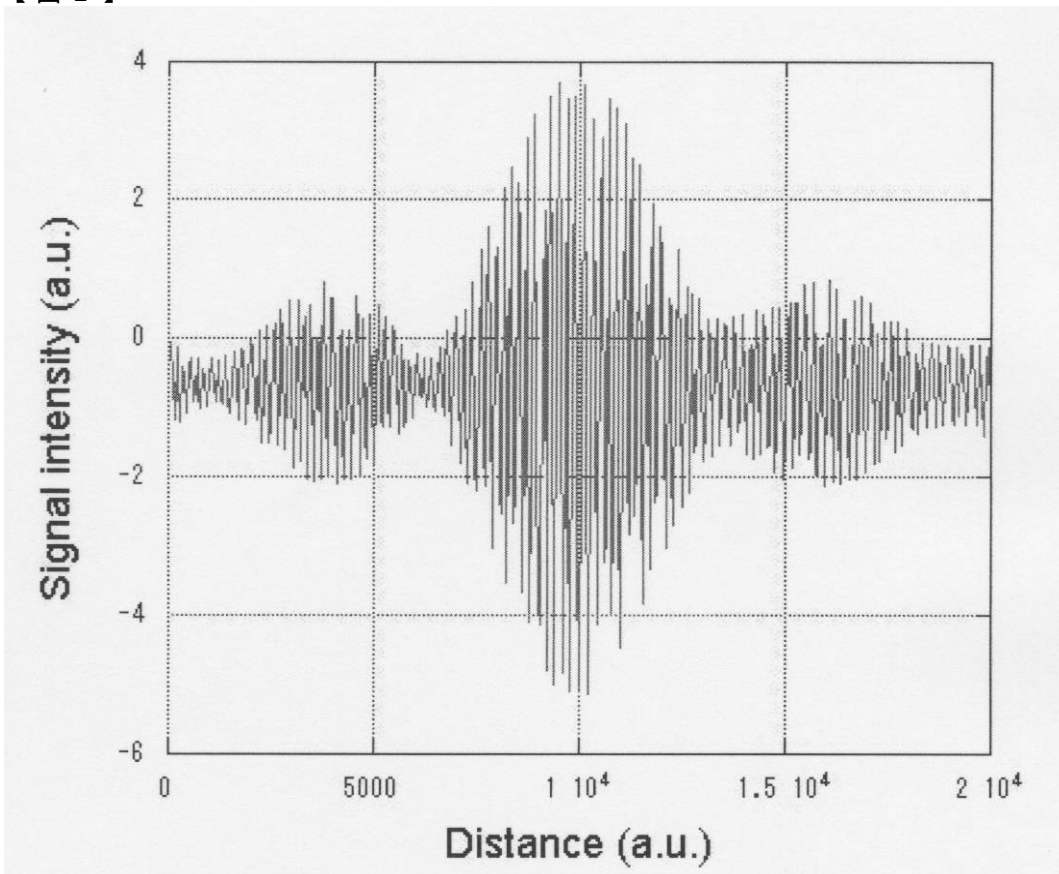
【 図 5 】



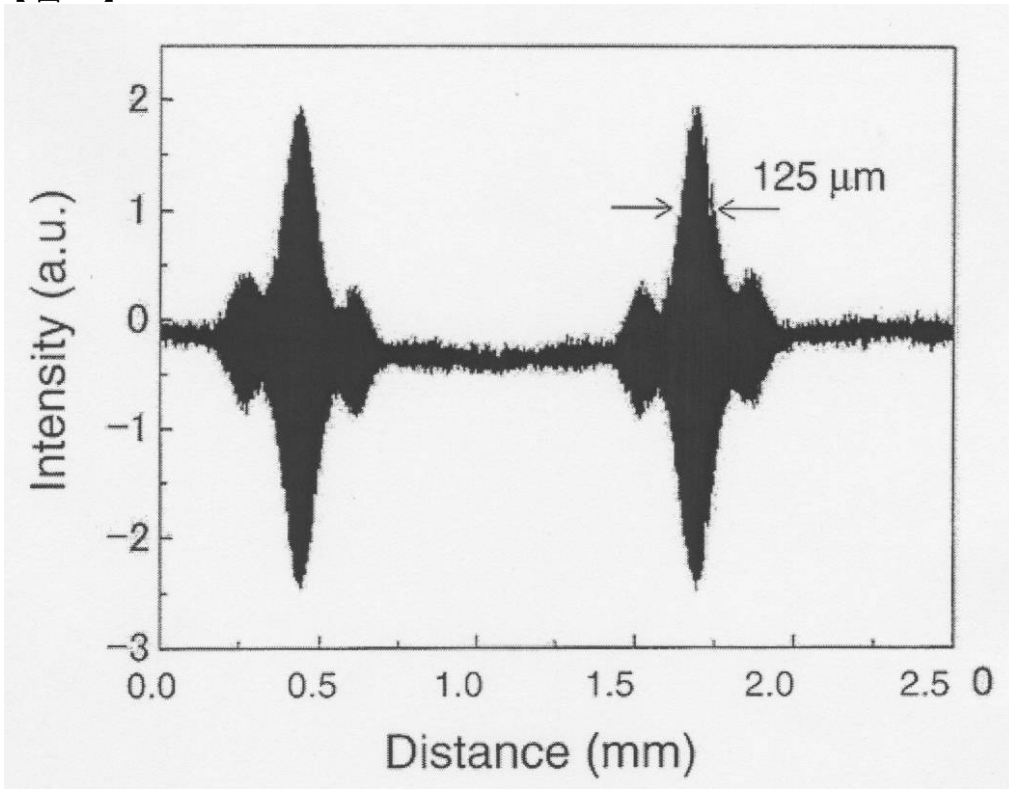
【 図 6 】



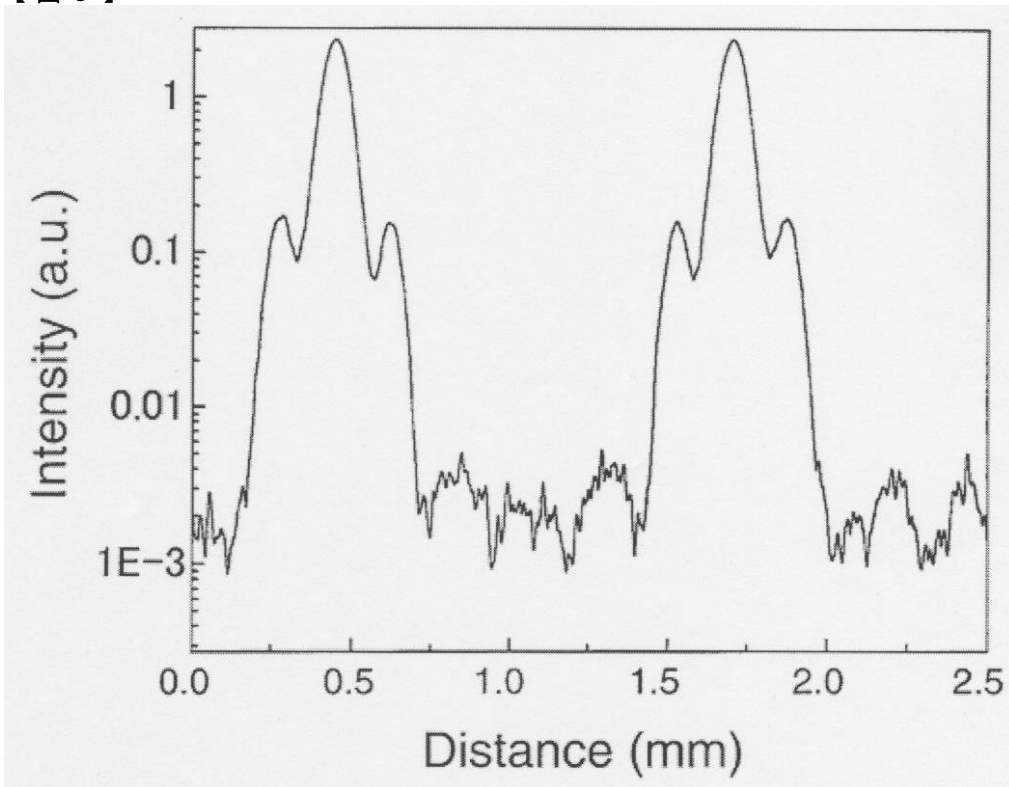
【 図 2 】



【 図 7 】



【 図 8 】



【 図 9 】

