

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特 許 公 報(B2)

(11) 特許番号

特許第3646164号

(P3646164)

(45) 発行日 平成17年5月11日(2005.5.11)

(24) 登録日 平成17年2月18日(2005.2.18)

(51) Int. Cl.⁷

F I

GO 1 N 21/64

GO 1 N 21/64

Z

GO 1 S 17/88

GO 1 S 17/88

Z

請求項の数 4 (全 11 頁)

(21) 出願番号	特願2001-273331 (P2001-273331)	(73) 特許権者	501204525
(22) 出願日	平成13年9月10日(2001.9.10)		独立行政法人海上技術安全研究所
(65) 公開番号	特開2003-83895 (P2003-83895A)		東京都三鷹市新川6丁目38番1号
(43) 公開日	平成15年3月19日(2003.3.19)	(74) 代理人	100062797
審査請求日	平成14年7月4日(2002.7.4)		弁理士 服部 修一
		(72) 発明者	樋富 和夫
			東京都三鷹市新川6丁目38番1号 独立行政法人 海上技術安全研究所内
		(72) 発明者	田口 昇
			東京都三鷹市新川6丁目38番1号 独立行政法人 海上技術安全研究所内
		(72) 発明者	山之内 博
			東京都三鷹市新川6丁目38番1号 独立行政法人 海上技術安全研究所内

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 蛍光画像計測装置

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

パルスレーザー光源と出射光学系からなるレーザー光照射手段と、受光光学系と光検出器とイメージンシファイアとCCDカメラとからなる受光手段と、画像記録装置と、前記光検出器からの信号により演算して前記イメージンシファイアとCCDカメラの撮像タイミング信号および前記画像記録装置の画像記録タイミング信号を供給する制御装置とを具備し、前記レーザー光照射手段により出射した第1レーザーパルス光の被測定物での散乱光を前記光検出器により検出し、その往復時間から算出した被測定物までの距離および検出レベルを前記制御装置に表示すると共に、前記往復時間、前記イメージンシファイアとCCDカメラの露光に関する遅延時間および前記画像記録装置の遅延時間などをもとに演算することにより、前記イメージンシファイアとCCDカメラへの撮像タイミング信号および前記画像記録装置への画像記録タイミング信号を供給して第2レーザーパルス光による蛍光画像を記録し、以降の各レーザーパルス光についても同様に演算を行い、且つ次のレーザーパルスによる蛍光画像を撮像し、記録することを繰り返すものであって、前記イメージンシファイアに対しては、各レーザースタートパルスを起算点とし、その起算点から(レーザーパルス出射までの時間 + 前記往復時間 - イメージンシファイアの遅延時間を考慮した設定時間)の後に露光を開始し、被測定物の蛍光発光時間を考慮した設定時間のあと露光が終了するよう制御し、前記CCDカメラに対しては、レーザースタートパルスから、レーザースタートパルスからCCDカメラの遅延時間のあと露光を開始し、ある設定時間のあと露光が終了するよう制御すると共に、前記画像記録装置

10

20

に対してはレーザスタートパルスのもとCCDカメラの画像出力同期信号出力前に記録可能な待機状態となるよう制御し、且つ前記パルスレーザ光源のレーザスタートパルスからQスイッチを開くまでの時間変動を10ns以下に制御したことを特徴とする蛍光画像計測装置。

【請求項2】

パルスレーザ光源と出射光学系からなるレーザ光照射手段と、受光光学系と光検出器とイメージンシファイアとCCDカメラとからなる受光手段と、画像記録装置と、前記光検出器からの信号により演算して前記イメージンシファイアとCCDカメラの撮像タイミング信号および前記画像記録装置の画像記録タイミング信号を供給する制御装置とを具備し、前記レーザ光照射手段により出射した第1レーザパルス光の被測定物での散乱光を前記光検出器により検出し、その往復時間から算出した被測定物までの距離および検出レベルを前記制御装置に表示すると共に、前記往復時間、前記イメージンシファイアとCCDカメラの露光に関する遅延時間および前記画像記録装置の遅延時間などをもとに演算することにより、前記イメージンシファイアとCCDカメラへの撮像タイミング信号および前記画像記録装置への画像記録タイミング信号を供給して第2レーザパルス光による蛍光画像を記録し、以降の各レーザパルス光についても同様に演算を行い、且つ次のレーザパルスによる蛍光画像を撮像し、記録することを繰り返すものであって、前記イメージンシファイアに対しては、レーザ出射過程のQスイッチパルスを起算点とし、その起算点から(レーザパルス出射までの時間 + 前記往復時間 - イメージンシファイアの遅延時間を考慮した設定時間)の後に露光を開始し、被測定物の蛍光発光時間を考慮した設定時間のもと露光が終了するよう制御し、前記CCDカメラに対しては、レーザスタートパルスからCCDカメラの遅延時間のもと露光を開始し、ある設定時間のもと露光が終了するよう制御すると共に、前記画像記録装置に対してはレーザスタートパルスのもとCCDカメラの画像出力同期信号出力前に記録可能な待機状態となるよう制御することを特徴とする蛍光画像計測装置。

【請求項3】

パルスレーザ光源と出射光学系からなるレーザ光照射手段と、受光光学系と光検出器とイメージンシファイアとCCDカメラとからなる受光手段と、画像記録装置と、前記光検出器からの信号により演算して前記イメージンシファイアとCCDカメラの撮像タイミング信号および前記画像記録装置の画像記録タイミング信号を供給する制御装置とを具備し、前記レーザ光照射手段により出射した第1レーザパルス光の被測定物での散乱光を前記光検出器により検出し、その往復時間から算出した被測定物までの距離および検出レベルを前記制御装置に表示すると共に、前記往復時間、前記イメージンシファイアとCCDカメラの露光に関する遅延時間および前記画像記録装置の遅延時間などをもとに演算することにより、前記イメージンシファイアとCCDカメラへの撮像タイミング信号および前記画像記録装置への画像記録タイミング信号を供給して第2レーザパルス光による蛍光画像を記録し、以降の各レーザパルス光についても同様に演算を行い、且つ次のレーザパルスによる蛍光画像を撮像し、記録することを繰り返すものであって、前記イメージンシファイアに対しては、レーザスタートパルスとQスイッチパルスとの間の時間領域にトリガーパルス起算点を設定し、その起算点から(レーザパルス出射までの時間 + 前記往復時間 - イメージンシファイアの遅延時間を考慮した設定時間)の後に露光を開始し、被測定物の蛍光発光時間を考慮した設定時間のもと露光が終了するよう制御し、前記CCDカメラに対しては、起算点からの遅延時間のもと露光を開始し、ある設定時間のもと露光が終了するよう制御し、前記画像記録装置に対しては、起算点からCCDカメラの画像出力同期信号出力前に記録可能な待機状態となるよう制御することを特徴とする蛍光画像計測装置。

【請求項4】

パルスレーザ光源の出力が複数の波長を含み、光検出器により散乱光の往復時間を計測するにあたり、被測定物の蛍光励起用波長とは異なるレーザ波長を用いたことを特徴とする請求項1ないし請求項3のいずれかに記載の蛍光計測装置。

10

20

30

40

50

【発明の詳細な説明】**【0001】****【発明の属する技術分野】**

本発明は蛍光発光状態の計測装置に関し、特にレーザ励起により発光する海洋表面の浮遊物からの蛍光計測装置に関する。

【0002】**【従来の技術】**

海洋表面の流出油の位置情報あるいは成分情報を飛翔体に搭載したいわゆる蛍光ライダーにより計測しようとする試みが1970年代から継続されてきた(R.M.Measures, Laser Remote Sensing fundamentals and Applications, John Wileys and sons, p424)。

10

【0003】

これはたとえば航空機から海洋表面にレーザを照射し、浮遊している流出油を励起し、当該流出油固有の蛍光を発光させ、これを光電子増倍管で検出して発光分布を計測することにより流出油の漂流ルートや、その速度などの位置情報を取得し、また蛍光の波長を把握することにより油の成分情報を取得しようとするものである。

【0004】

蛍光の波長特性の計測においては、蛍光を望遠鏡で受光し、光電子増倍管に導く光路に各種フィルターを順次挿入して検出電気信号の変化を計測する。挿入したフィルターの透過波長域に対する検出信号の変化が蛍光の波長特性を示すことになる。これにより回収作業を有効に実施したり、また回収作業の完成度評価を行ったり、流出油の時間的変質を探

20

【0005】

同様に蛍光ライダーを使い、海洋表面および海中のプランクトン固有の蛍光計測からその濃度および種類の特定を行う試みも提案されている(特開平4-69546号公報)。地球上に放出された2酸化炭素を炭素同化作用により吸収する植物プランクトンは、地球の2酸化炭素の低減に大きな寄与をしているといわれ、その濃度分布の把握は地球温暖化対策として重要だからである。

【0006】

しかしながら、これら蛍光ライダー装置はレーザを照射した海洋表面1点の蛍光を光電子増倍管で検出するわけだから当該1点の対象物の特性しか得られない。したがって海洋

30

に広がった流出油の2次元分布を求めるには、レーザを2次元的にスキャン照射して計算機により2次元画像化することが必要である。

【0007】**【発明が解決しようとする課題】**

上に掲げた用途、目的は、いずれも地球環境保護のため重要な課題であるが、いまだに实用段階にいたっていない一因は、上述の計測が光電子増倍管を用いた本質的には1点の情報から始まるものであり、实用価値の高い2次元情報を得るまでのプロセスが複雑なものとなるからである。

【0008】

すなわち、飛翔体からの不規則となりがちなレーザの2次元スキャンと、これによる蛍光の受光信号を飛翔体姿勢の補正を加えながら2次元情報を構築するには、多段階のプロセスが必要であり、リアルタイム計測にはなりがたい。

40

【0009】

流出油を目の前にして、その回収策を最適なものにするためには、流出油の動向を2次元情報としてリアルタイムで把握することが望ましい。たしかに蛍光強度は照射レーザ光強度に依存するため、レーザ光を細く保ちつつ対象に照射し、高感度光電子増倍管によりやっと微弱蛍光信号を得ることが可能となるような条件では上述の1点計測が基本とならざるを得ない。

【0010】

しかし、最近の飛翔体搭載用レーザ出力の向上、イメージインテンシファイア、CCD

50

カメラなど撮像装置の感度向上により、レーザ光を拡大照射し、照射面に関して2次元に広がる蛍光をリアルタイムで計測することも可能となってきた(特願平2000-243403号公報)。

【0011】

しかしこの場合、イメージンテンシファイアは非常に感度の高い撮像装置であるため、パルスレーザにより励起されたパル的な蛍光発光にあわせて露光させ、その他の期間には露光しないことが重要である。なぜなら、蛍光発光期間以外の露光は背景光により、折角受光した微弱な蛍光信号を劣化させてしまうからである。

【0012】

流出油の蛍光発光期間は数100ns(1nsは 10^{-9} 秒)である。この期間に合わせ 10
て露光するには、飛翔体搭載の場合、その高度、姿勢によって変化するレーザの出射から
蛍光発光開始が検出できるまでの時間、および撮像装置のイメージンテンシファイア
とCCDカメラに露光を開始するよう指示を与えてから実際露光が開始するまでの遅延時
間を考慮した制御を行うことが必要になる。

【0013】

また、パルスレーザの一般的性質として、レーザ光の出射時間は数nsから数10ns
のジッターがあることも知られており、これも考慮する必要がある。これら考慮を行わな
い場合、蛍光が撮像装置のイメージンテンシファイアとCCDカメラに到達していない
のに露光を開始してしまったり、蛍光が到達しているのだから露光を開始すべきであるの
に、それを怠ったりすることになる。 20

【0014】

従って本発明の解決しようとする課題は、撮像装置のイメージンテンシファイアとC
CDカメラの露光のタイミングを、レーザのジッターや飛翔体から対象物までの距離およ
びイメージンテンシファイアとCCDカメラ固有の遅延時間を勘案して制御することに
より露光条件を最適化させ良好な蛍光画像を得る装置を提供することである。

【0015】

【課題を解決するための手段】

本発明は、上記の課題を解決するためになされたもので、請求項1記載の発明は、パル
スレーザ光源と出射光学系からなるレーザ光照射手段と、受光光学系と光検出器とイメー
ジンテンシファイアとCCDカメラとからなる受光手段と、画像記録装置と、前記光検 30
出器からの信号により演算して前記イメージンテンシファイアとCCDカメラの撮像タイ
ミング信号および前記画像記録装置の画像記録タイミング信号を供給する制御装置とを
具備し、前記レーザ光照射手段により出射した第1レーザパルス光の被測定物での散乱光
を前記光検出器により検出し、その往復時間から算出した被測定物までの距離および検出
レベルを前記制御装置に表示すると共に、前記往復時間、前記イメージンテンシファイ
アとCCDカメラの露光に関する遅延時間および前記画像記録装置の遅延時間などをもと
に演算することにより、前記イメージンテンシファイアとCCDカメラへの撮像タイミ
ング信号および前記画像記録装置への画像記録タイミング信号を供給して第2レーザパ
ルス光による蛍光画像を記録し、以降の各レーザパルス光についても同様に演算を行い、且
つ次のレーザパルスによる蛍光画像を撮像し、記録することを繰り返すものであって、前 40
記イメージンテンシファイアに対しては、各レーザスタートパルスを起算点とし、その
起算点から(レーザパルス出射までの時間 + 前記往復時間 - イメージンテンシファイ
アの遅延時間を考慮した設定時間)の後に露光を開始し、被測定物の蛍光発光時間を考
慮した設定時間のあと露光が終了するよう制御し、前記CCDカメラに対しては、レー
ザスタートパルスから、レーザスタートパルスからCCDカメラの遅延時間のあと露光を開
始し、ある設定時間のあと露光が終了するよう制御すると共に、前記画像記録装置に対
してはレーザスタートパルスのあとCCDカメラの画像出力同期信号出力前に記録可能の待
機状態となるよう制御し、且つ前記パルスレーザ光源のレーザスタートパルスからQスイ
ッチを開くまでの時間変動を10ns以下に制御したことを特徴とする蛍光画像計測装置
である。 50

【0016】

また、請求項2記載の発明は、パルスレーザー光源と出射光学系からなるレーザー照射手段と、受光光学系と光検出器とイメージンシファイアとCCDカメラとからなる受光手段と、画像記録装置と、前記光検出器からの信号により演算して前記イメージンシファイアとCCDカメラの撮像タイミング信号および前記画像記録装置の画像記録タイミング信号を供給する制御装置とを具備し、前記レーザー照射手段により出射した第1レーザーパルス光の被測定物での散乱光を前記光検出器により検出し、その往復時間から算出した被測定物までの距離および検出レベルを前記制御装置に表示すると共に、前記往復時間、前記イメージンシファイアとCCDカメラの露光に関する遅延時間および前記画像記録装置の遅延時間などをもとに演算することにより、前記イメージンシファイアとCCDカメラへの撮像タイミング信号および前記画像記録装置への画像記録タイミング信号を供給して第2レーザーパルス光による蛍光画像を記録し、以降の各レーザーパルス光についても同様に演算を行い、且つ次のレーザーパルスによる蛍光画像を撮像し、記録することを繰り返すものであって、前記イメージンシファイアに対しては、レーザー出射過程のQスイッチパルスを起算点とし、その起算点から（レーザーパルス出射までの時間 + 前記往復時間 - イメージンシファイアの遅延時間を考慮した設定時間）の後に露光を開始し、被測定物の蛍光発光時間を考慮した設定時間のあと露光が終了するよう制御し、前記CCDカメラに対しては、レーザースタートパルスからCCDカメラの遅延時間のあと露光が開始し、ある設定時間のあと露光が終了するよう制御すると共に、前記画像記録装置に対してはレーザースタートパルスのあとCCDカメラの画像出力同期信号出力前に記録可能の待機状態となるよう制御することを特徴とする蛍光画像計測装置である。

10

20

【0017】

また、請求項3記載の発明は、パルスレーザー光源と出射光学系からなるレーザー照射手段と、受光光学系と光検出器とイメージンシファイアとCCDカメラとからなる受光手段と、画像記録装置と、前記光検出器からの信号により演算して前記イメージンシファイアとCCDカメラの撮像タイミング信号および前記画像記録装置の画像記録タイミング信号を供給する制御装置とを具備し、前記レーザー照射手段により出射した第1レーザーパルス光の被測定物での散乱光を前記光検出器により検出し、その往復時間から算出した被測定物までの距離および検出レベルを前記制御装置に表示すると共に、前記往復時間、前記イメージンシファイアとCCDカメラの露光に関する遅延時間および前記画像記録装置の遅延時間などをもとに演算することにより、前記イメージンシファイアとCCDカメラへの撮像タイミング信号および前記画像記録装置への画像記録タイミング信号を供給して第2レーザーパルス光による蛍光画像を記録し、以降の各レーザーパルス光についても同様に演算を行い、且つ次のレーザーパルスによる蛍光画像を撮像し、記録することを繰り返すものであって、前記イメージンシファイアに対しては、レーザースタートパルスとQスイッチパルスとの間の時間領域にトリガーパルス起算点を設定し、その起算点から（レーザーパルス出射までの時間 + 前記往復時間 - イメージンシファイアの遅延時間を考慮した設定時間）の後に露光を開始し、被測定物の蛍光発光時間を考慮した設定時間のあと露光が終了するよう制御し、前記CCDカメラに対しては、起算点からの遅延時間のあと露光を開始し、ある設定時間のあと露光が終了するよう制御し、前記画像記録装置に対しては、起算点からCCDカメラの画像出力同期信号出力前に記録可能の待機状態となるよう制御することを特徴とする蛍光画像計測装置である。

30

40

【0018】

また、請求項4記載の発明は、請求項1ないし請求項3のいずれかに記載の発明であって、パルスレーザー光源の出力が複数の波長を含み、光検出器により散乱光の往復時間を計測するにあたり、被測定物の蛍光励起用波長とは異なるレーザー波長を用いたことを特徴とする蛍光計測装置である。

【0019】

上記構成の蛍光画像計測装置を飛行体に搭載すれば、レーザーを出射してから蛍光発光開

50

始が検出できるまでの時間、および撮像装置のイメージンテンシファイアとCCDカメラに露光開始指示を与えてから実際露光が開始するまでの遅延時間の両者を勘案して露光制御を行うことができ、背景光の影響を低減した良好な蛍光画像を得ることができる。

【0020】

【発明の実施の形態】

図1は、ヘリコプターとして示された飛翔体1に搭載された本発明による蛍光画像計測装置の実施例を示すものであり、例えばNd:YAGレーザの第3高調波(波長355nm)のようなレーザ発振器2からパルス幅10ns程度の第1の短パルス出力3を出射光学系4を経由して飛翔体1から海洋表面5に照射する。

【0021】

この短パルス出力3の一部は海洋表面での泡や浮遊物6などにより散乱され、散乱光7として飛翔体1から観測される。短パルス出力3の他の一部が浮遊物固有の蛍光8を発光させた場合、これも飛翔体1から観測される。

【0022】

これら散乱光7および蛍光8は、受光光学系9を経由して受光手段に導入されビームスプリッタ10で分割されその一部は光検出器11に、残りはイメージンテンシファイア12に入射する。

【0023】

光検出器11は、使用するレーザ波長に合わせて選択され、紫外光、可視光に対しては光電子増倍管、赤外光に対してはガリウム砒素ホトダイオードなど固体素子が用いられる。

【0024】

レーザ出射までの過程は、レーザコントローラ13により、例えば図2のタイミングダイアグラムに示すように制御される。すなわちレーザコントローラ13が提供する同期信号として数値例を示すと、レーザスタートパルス14のTS = 50μsの後にレーザ結晶を励起するランプをフラッシュするパルス15が供給されてランプが点灯し、TF = 190μsの後にレーザ結晶の励起状態を開放させるパルス16(Qスイッチパルス)が供給され、そのTQ = 80ns後にレーザ発振が得られ、パルス幅10ns程度の短パルスレーザが出射される。

【0025】

図2の14、15、16の各パルスはレーザコントローラ13から供給されるが、出射レーザパルスは、例えばレーザ発振器の出射口近傍に光ファイバー17を配置し第2の光検出器18に導き電気信号に変換することにより出射レーザパルス19が得られことになる。

【0026】

図1の散乱光7は受光光学系9、ビームスプリッタ10を経由して、レーザ波長を選択的に透過させるフィルター20を透過し、光検出器11に到達し電気信号に変換され、図2に示すようにパルス幅10nsの照射レーザの戻り光パルス21が検出される。

【0027】

出射パルス19と戻り光パルス21の時間間隔T(レーザ光の往復時間)は、飛翔体1とレーザ照射された浮遊物6までの距離Lにより $T = 2L / C$ となるはずである(Cは光速)。例えば、L = 30mならT = 200ns、L = 300mならT = 2μs、L = 3000mならT = 20μsである。

【0028】

さて浮遊物6がたとえば流出油とすると、固有の青緑色の蛍光8は数100nsの蛍光寿命をもつ光パルスとして、上述のように受光光学系9を経由して蛍光発光帯域を選択的に透過させるフィルター22を経てイメージンテンシファイア12に到達する。

【0029】

ここで背景光の影響を低減させ鮮明な蛍光画像を得るには、蛍光発光帯域に合わせた透過帯域を持つフィルター22を用いるとともに、この蛍光パルスのパルス幅に合わせて撮

10

20

30

40

50

像装置を露光することが有効である。微弱で、短パルスの蛍光パルスを撮像するためには、高速露光操作が可能な画像増強装置のイメージンスフィア12により画像輝度を高めこれをCCDカメラ23で蛍光画像情報として撮像する。撮像された蛍光画像情報は、画像記録装置24に送られて記録される。

【0030】

これら撮像装置において、トリガーパルスにより合図を受けてから実際に動作が始まるまで遅延があり、イメージンスフィア12の露光開始までの遅延時間 $T_I = 55 \text{ ns}$ 、CCDカメラ23の撮像開始まで $T_C = 2 \mu\text{s}$ 等の例が知られている。

【0031】

本発明は、レーザ光出射過程での各種タイミング、飛翔体の高度と姿勢により刻々変化する時間間隔 T_{L_i} (i はレーザパルス出射番号)、そして撮像装置の各種遅延時間などの、諸変動要素を制御装置25において勘案し演算を行い撮像装置のイメージンスフィア12とCCDカメラ23を制御することにより、微弱で数 100 ns しか存在しない蛍光パルスを良好な画像品質で獲得しようとするものである。

【0032】

レーザ出射から時間 T の後、すなわち戻り光パルス21検出と同時に蛍光パルスのもたらず蛍光画像計測のためイメージンスフィア12の露光を開始したいが、これではイメージンスフィア12の遅延時間 T_I の分だけ露光が遅れる。従って第1のレーザ照射パルス19に関しては、その戻り光パルス21の検出により時間間隔 T_{L1} を計測しこれを保存し、これより被測定物までの距離を算出して制御装置25に表示する。次に例えばパルス周波数が 10 Hz として 100 ms 後に射出される第2パルスのもたらず蛍光画像計測において、この T_{L1} と遅延時間 T_I から算出したイメージンスフィア12に対するトリガーパルスの最適タイミングを供給する。

【0033】

すなわち、図2の各パルスのタイミングを参照し、前述のレーザコントローラ13における数値例を用いると、第2パルスの射出に関するレーザスタートパルス26から t 時間後に

$$t = T_S + T_F + T_Q + T_{L1} - T_I \\ = 50 \mu\text{s} + 190 \mu\text{s} + 80 \text{ ns} + T_{L1} - T_I$$

つまり、例えば $L = 300 \text{ m}$ の場合 $T_{L1} = 2 \mu\text{s}$ 、 $T_I = 55 \text{ ns}$ なら $242.025 \mu\text{s}$ 後にイメージンスフィア12へのトリガーパルス27を供給し、露光を開始させ、蛍光発光時間に相当する数 100 ns の露光を行わせる。なお、第2パルスについて計測された時間間隔 T_{L2} は、飛翔体の移動によって T_{L1} と異なる値として保存し、 100 ms 後の第3パルスについての蛍光画像計測に適用する。

【0034】

このようにしてイメージンスフィア12には、第2パルス照射による微弱な蛍光画像が最適なタイミング露光により輝度増強された鮮明な画像として蓄積される。そして第2レーザパルスの射出に関するレーザスタートパルス26と同時に、CCDカメラ23を例えば $1/60 \text{ 秒} = 16.67 \text{ ms}$ 露光させるようトリガーパルス28を供給すれば、CCDカメラ23は遅延時間 T_C の後に見かけ上の露光を開始するが、実際はイメージンスフィア12が開いているトリガーパルス27に相当する露光時間 $28'$ にかぎり上記鮮明画像を蓄積する。CCDカメラ23は次の $1/30 \text{ 秒}$ 間で画像信号29、30として送り出す。この画像信号を記録するには、この画像信号放出に先立って画像記録装置24を待機させておくことが必要である。したがってレーザスタートパルス26から例えば 10 ms 後に画像記録装置24にトリガーパルス31を供給すれば、その約 7 ms 後から始まるCCDカメラ23からの画像信号を記録画像 $29'$ 、 $30'$ として記録することができる。

【0035】

以上、例えば繰り返し周波数 10 Hz のレーザスタートパルスを時間原点とし、これに

10

20

30

40

50

先立つ100ms前の前パルスを用いて計測しておいた飛翔体の高度と姿勢で可成る光の往復時間と、レーザおよび撮像装置の各種遅延時間とを勘案したトリガーパルスを供給すれば、レーザパルスの照射により作り出される微弱な蛍光画像を鮮明に記録することが可能となることを述べた。

【0036】

このように、本発明ではトリガーパルス27の供給精度が重要である。すべてのトリガーパルスの起算点となるレーザスタートパルス26からもっとも厳しい精度が要求されるのはイメージンシファイア12の露光設定に関係するものである。すなわちレーザスタートパルス27からQスイッチパルスの時間間隔 $T_S + T_F$ （例えば $T_S + T_F = 50\mu s + 190\mu s = 240\mu s$ ）の変動は10ns以下であることがのぞましく、レーザスタートパルス27からイメージンシファイア12への露光開始を指示するトリガーパルス27の供給系も同様であり、レーザ発振器のコントローラに内蔵された通常のクロックにたよるのではなく、独立した精度が保証されたパルス発生器を適用することが好ましい。

10

【0037】

しかし、考えてみると上記の例で240 μs のレベルから10nsの制御精度、すなわち5桁もの制御精度が要求されるのは、レーザスタートパルス26を起算点とするからであり、240 μs という時間はレーザ結晶を活性化するためのフラッシュランプが点灯するまでに時間がかかること、ランプが点灯してからレーザ結晶内がビルドアップし飽和励起状態となるまで時間がかかることで決まる。もし、精度の高い時間設定を必要とする系の起算点をQスイッチの開く時点、つまりパルス16の位置に移動すれば装置精度の制御性はより容易なものとなる。

20

【0038】

すなわち上述の数値例を引用すると、飽和励起状態となったレーザ結晶にQスイッチパルスを加えると80ns後にレーザパルス19が出射され、時間間隔 T_{L1} のあと、戻り光パルス21が得られる。次のレーザパルスについての蛍光計測では、この時刻に対しその遅延時間 T_I のぶんだけ先立ってイメージンシファイア12の露光が始まっていればいいのだから、Qスイッチパルスから

t' 時間後に

$$\begin{aligned} t' &= T_Q + T_{L1} - T_I \\ &= 80\text{ns} + T_{L1} - T_I \end{aligned}$$

30

つまり、例えば $L=300\text{m}$ で $T_{L1}=2\mu s$ 、 $T_I=55\text{ns}$ なら2.025 μs の後にイメージンシファイア12へのトリガーパルスを供給することとなる。このとき制御精度10nsは3桁となり制御性はより容易なものとなる。この場合の各パルスのタイミングチャートを図3に示す。

【0039】

CCDカメラ23と画像記録装置24に対するトリガーパルスは図2と同様レーザスタートパルス26を起算点としている。Qスイッチパルス16を起算点とすると、 $T_C=2\mu s$ とされるCCDカメラ遅延時間がイメージンシファイア12の画像情報を捉えられないおそれがあるからである。

40

【0040】

だから本発明の思想による他の実施例として制御性とトリガーパルス起算点の単一化のために、図4に示すようにレーザスタートパルス26とQスイッチパルス16の間に、2 μs とされるCCDカメラ23の遅延時間を克服する新たな起算点32を設け、これをもとにイメージンシファイア12、CCDカメラ23および画像記録装置24に対するトリガーパルスを供給することもできよう。

【0041】

さきに、電気信号を与えてからレーザが出射されるまでの時間には、ジッターと呼ばれる変動幅があり、撮像装置のイメージンシファイア12とCCDカメラ23の露光

50

タイミングの設定にあたっては、これに対する考慮も必要であることを述べた。煩雑となることを避けるため、図2、図3、図4のタイミングチャートを用いての説明ではジッターについての考察を省いているが、実際には、各図の演算ベース、すなわち図2ではレーザースタートパルス14、26、図3ではQスイッチパルス16、図4では新起算点からレーザーが出射されるまでのジッターを把握し、イメージインテンシファイア露光トリガーパルスの遅延時間Tの算出にあたり、その変動幅の1/2を減じておけばいい。

【0042】

さて、Nd:YAGレーザーの第3高調波(波長355nm)を蛍光励起光源とする場合、その出力には第3高調波以外に基本波(波長1.064μm)および第2高調波(波長532nm)を含ませることができる。これまでの説明では飛翔体の高度、姿勢に関連する戻り光による往復時間の計測には蛍光励起光源となる第3高調波の海洋表面での散乱光成分を用いるとしてきた。しかし、波長355nmの紫外光よりも、波長1.064μmの赤外光を戻り光検出に用いるほうが便利な場合がある。

10

【0043】

すなわち受光光学系9に到達した散乱光7および蛍光8を分離するビームスプリッタ10として、通常ホットミラーと呼ばれる赤外光を選択的に大きな反射率で反射する光学素子を用いれば、通常のビームスプリッタが可視領域の蛍光成分も含んだ形で定められた割合で反射するのに比べ、蛍光成分の損失なしに戻り光信号を向上させることができる。また、海中での透過特性に優れた波長532nmを戻り光信号検出に用いると、戻り光パルスに続く海中、海底での情報収集にも役立てることができよう。

20

【0044】

【発明の効果】

本発明によれば、例えば飛翔体に搭載したとき被測定物との距離が変化しても、また撮像装置に遅延時間があっても、これらを考慮した撮像タイミングおよび露光時間を最適に制御することができ、鮮明な蛍光画像を得ることができる。

【図面の簡単な説明】

【図1】発明の実施例の概念図。

【図2】起算点をレーザースタートパルスとした各パルスのタイミングチャート。

【図3】起算点をQスイッチパルスとした各パルスのタイミングチャート。

【図4】新起算点による各パルスのタイミングチャート。

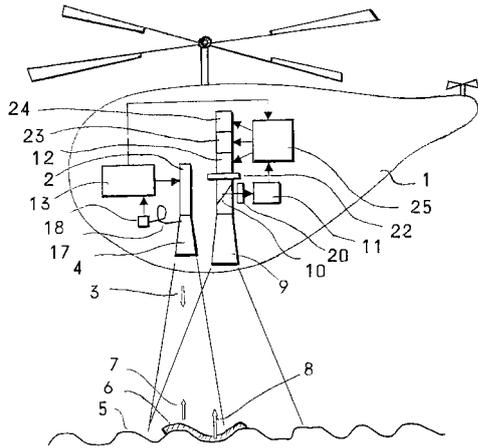
30

【符号の説明】

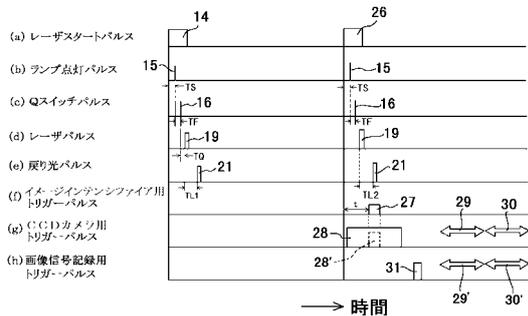
- | | | |
|-------|---------------|----|
| 1 | 飛翔体 | |
| 2 | パルスレーザー発振器 | |
| 3 | レーザー短パルス出力 | |
| 4 | 出射光学系 | |
| 5 | 海洋表面 | |
| 6 | 浮遊物 | |
| 7 | 散乱光 | |
| 8 | 蛍光 | |
| 9 | 受光光学系 | 40 |
| 10 | ビームスプリッタ | |
| 11,18 | 光検出器 | |
| 12 | イメージインテンシファイア | |
| 13 | レーザーコントローラ | |
| 14,26 | スタートパルス | |
| 15 | 励起ランプ点灯を示すパルス | |
| 16 | Qスイッチパルス | |
| 17 | 光ファイバー | |
| 19 | 出射レーザーパルス | |
| 20,22 | フィルター | 50 |

- 21 戻り光パルス
- 23 C C Dカメラ
- 24 画像記録装置
- 25 制御装置
- 27 イメージンテンシファイア用トリガーパルス
- 28 C C Dカメラ用トリガーパルス
- 28' C C Dカメラの実質的露光時間
- 29,30 画像信号
- 31 画像信号記録用トリガーパルス
- 29',30' 記録画像
- 32 起算点

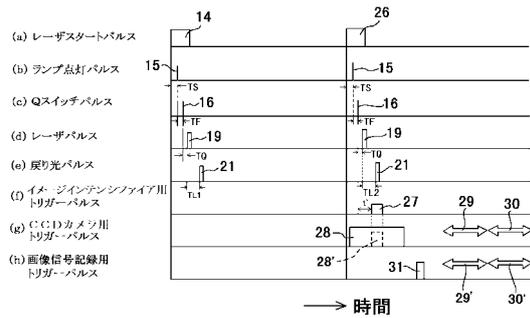
【図1】



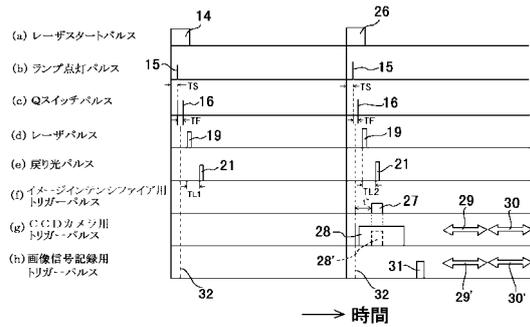
【図2】



【図3】



【図4】



フロントページの続き

(72)発明者 山岸 進

東京都三鷹市新川6丁目38番1号 独立行政法人 海上技術安全研究所内

審査官 横井 亜矢子

(56)参考文献 特開平09-304281(JP,A)

特開平01-112952(JP,A)

特開2000-275135(JP,A)

特表平07-503317(JP,A)

特表平03-501413(JP,A)

(58)調査した分野(Int.Cl.⁷, DB名)

G01N 21/62-21/74

G01S 17/00-17/88

JICSTファイル(JOIS)