

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特 許 公 報(B2)

(11) 特許番号

特許第4804058号  
(P4804058)

(45) 発行日 平成23年10月26日(2011.10.26)

(24) 登録日 平成23年8月19日(2011.8.19)

(51) Int.Cl.

G 0 1 B 9/02 (2006.01)

F I

G 0 1 B 9/02

請求項の数 9 (全 17 頁)

(21) 出願番号	特願2005-218981 (P2005-218981)	(73) 特許権者	000001007
(22) 出願日	平成17年7月28日(2005.7.28)		キヤノン株式会社
(65) 公開番号	特開2007-33318 (P2007-33318A)		東京都大田区下丸子3丁目30番2号
(43) 公開日	平成19年2月8日(2007.2.8)	(74) 代理人	100086818
審査請求日	平成20年7月25日(2008.7.25)		弁理士 高梨 幸雄
		(72) 発明者	門脇 秀次郎
			東京都大田区下丸子3丁目30番2号 キ
			ヤノン株式会社内
		(72) 発明者	石塚 公
			東京都大田区下丸子3丁目30番2号 キ
			ヤノン株式会社内
		(72) 発明者	加藤 成樹
			東京都大田区下丸子3丁目30番2号 キ
			ヤノン株式会社内

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 干渉測定装置

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項 1】

高可干渉性の第1の光束を放射する第1の光源手段と、  
 該第1の光束と中心波長が異なる低可干渉性の第2の光束を放射する第2の光源手段と、  
 該第1の光束と該第2の光束を合波する合波手段と、  
 該合波された第1及び第2の光束をそれぞれ2つの光束に分割する光分割手段と、  
 該分割された一方の光束を被測定物の測定反射面に入射させ、  
 他方の光束を参照面に入射させ、  
 該測定反射面からの反射光と、該参照面からの反射光を合波して、該分割された2つの第1の光束及び該分割された2つの第2の光束を各々干渉させる干渉部と、  
 該干渉部において該分割された2つの第1の光束により形成される干渉光と、該分割された2つの第2の光束により形成される干渉光を検出する受光手段とを有し、  
該第1の光束により形成される干渉光に基づく第1の信号及び該第2の光束により形成される干渉光に基づく第2の信号の位相差と、該第2の信号の強度とを用いて、該測定反射面に関する測定原点を決定する演算手段とを有する  
 ことを特徴とする干渉測定装置。

【請求項 2】

前記受光手段は、前記分割された2つの第1の光束により形成される干渉光を検出する第1の受光手段と、前記分割された2つの第2の光束により形成される干渉光を検出する第2の受光手段とを有していることを特徴とする請求項1に記載の干渉測定装置。

10

20

## 【請求項 3】

前記演算手段は、前記第 1、第 2 の信号の位相差がゼロの位置での前記第 2 の信号の強度に基づいて測定原点を決定することを特徴とする請求項 1 または 2 に記載の干渉測定装置。

## 【請求項 4】

前記第 2 の信号は、前記測定反射面と前記光分割手段との光路長と、前記参照面と前記光分割手段との光路長が等しいとき振幅が最大で、該光路長の差に応じて減衰することを特徴とする請求項 1 乃至 3 のいずれか 1 項に記載の干渉測定装置。

## 【請求項 5】

前記演算手段は、第 1、第 2 の信号の位相差がゼロの位置のうち、前記第 2 の信号の強度に基づいて求められた該測定反射面と該参照面のそれぞれと前記光分割手段との光路長が等光路長である位置を、変位情報の測定原点として決定することを特徴とする請求項 1 乃至 3 のいずれか 1 項に記載の干渉測定装置。

10

## 【請求項 6】

前記演算手段は、第 1、第 2 の信号の位相差がゼロの位置と、前記減衰する前記第 2 の信号の強度のピーク位置と、に基づいて該測定反射面と該参照面のそれぞれと前記光分割手段との光路長が等光路長の位置を、変位情報の測定原点として決定することを特徴とする請求項 5 に記載の干渉測定装置。

## 【請求項 7】

前記光分割手段は、偏光ビームスプリッタより成り、前記合波された第 1 及び第 2 の光束を該偏光ビームスプリッタにて 2 つの直線偏光の光束に分割し、一方の光束を前記測定反射面に入射させて反射させ、他方の光束を前記参照面に入射させて反射させ、それぞれの光束を該偏光ビームスプリッタにて合波し、

20

前記合波された光束は、1 / 4 波長板によって、該光束の光路長差の変動に基づく位相差の変動に応じた偏光方位が回転する直線偏光に変換され、

前記受光手段は、前記第 1 の光束に基づく干渉光から前記測定反射面の変位に関する周期信号である前記第 1 の信号と、前記第 2 の光束に基づく干渉光から、前記測定反射面と前記光分割手段との光路長と、前記参照面と前記光分割手段との光路長とが等しいとき振幅が最大で該光路長の差に応じて減衰する周期信号である前記第 2 の信号を発生させること特徴とする請求項 1 乃至 4 のいずれか 1 項に記載の干渉測定装置。

30

## 【請求項 8】

前記第 1 及び第 2 の光源手段の発光を交互に ON - OFF し、前記第 1 の光束と前記第 2 の光束の点灯に合わせて各々の干渉光を受光手段で受光し、

前記演算手段は、第 1 の光束によって形成される前記干渉光に基づく干渉信号波形と第 2 の光束によって形成される前記干渉光に基づく干渉信号波形とを各々推定補間することによって得られた前記第 1 の信号と前記第 2 の信号の信号波形に基づいて前記測定反射面と前記光分割手段の間の光路長と前記参照面と前記光分割手段の間の光路長とが等しい位置を測定原点とすることを特徴とする請求項 1 に記載の干渉測定装置。

## 【請求項 9】

前記第 1 又は第 2 の光源手段の一方の駆動を ON - OFF し、一方の光源手段の消灯に合わせて他方の光源手段からの光束に基づく干渉光を前記受光手段で検出し、

40

前記演算手段は、該一方の光源手段の点灯に合わせて該第 1 の光束によって形成される前記干渉光に該第 2 の光束によって形成される前記干渉光を重ねた干渉信号波形と、ON - OFF した一方の光源手段からの光束に基づく干渉信号波形または他方の光源手段からの光束に基づく干渉信号波形を推定補間することによって得られた、前記第 1 の信号と前記第 2 の信号の干渉信号波形とに基づいて前記測定反射面と前記光分割手段との光路長と前記参照面と前記光分割手段の間の光路長とが等しい位置を測定原点とすることを特徴とする請求項 1 に記載の干渉測定装置。

## 【発明の詳細な説明】

## 【技術分野】

50

## 【 0 0 0 1 】

本発明は、非接触にて物体の位置変動情報を検出する干渉測定装置に関し、特に変位情報を検出するときに、原点となる原点位置を付加し、絶対位置変移情報を検出する際に好適なものである。

## 【 背景技術 】

## 【 0 0 0 2 】

ナノメートルレベルの精度、分解能で長さを計測する装置には、レーザ光を用いたマイケルソン干渉装置等のレーザ干渉測定装置が広く使用されている。

## 【 0 0 0 3 】

レーザ干渉測定装置は被測定対象の変位によって発生する干渉波が正弦波であり、その波数を積算し、さらに正弦波の位相を読み取ることによりナノメートルレベルの精度、分解能で変位量を得ることができる。

10

## 【 0 0 0 4 】

マイケルソン干渉装置で得られる干渉信号を用いて、被測定面の変位情報（位置情報）を得る装置が種々と提案されている（特許文献 1）。

## 【 0 0 0 5 】

特許文献 1 の変位検出装置では、光干渉を利用して、磁気ヘッドアームに設けた被測定面の変位情報を検出している。

## 【 0 0 0 6 】

具体的には磁気ヘッドアームの回転軸と同軸に位置決め用のプローブ指示アームを設けている。

20

## 【 0 0 0 7 】

そしてプローブ指示アームには、磁気ヘッドアームの端面位置（被測定面）が適正な位置にあるか否かを検出する光学的位置検出センサユニットが取り付けられている。

## 【 0 0 0 8 】

この光学的位置検出センサユニットには、干渉信号を利用して、磁気ヘッドアームの側面の位置決めを行う 1 / 4 波長板、位相回折格子、受光素子等を含む検出系が設けられている。

## 【 0 0 0 9 】

この他被測定面の光軸方向の位置情報を検出する為に偏向板、集光レンズ、4 分割センサ等を含むフォーカス検出光学系が設けられている。

30

## 【 特許文献 1 】特開 2 0 0 1 - 7 6 3 2 5 号公報

## 【 発明の開示 】

## 【 発明が解決しようとする課題 】

## 【 0 0 1 0 】

干渉測定装置によるレーザ干渉は出力信号が正弦波で得られる。このため、波数と位相からナノメートルオーダーの分解能の計測が可能であるが、変位のみで絶対位置は計測できない。測定物の絶対変位情報を得る方法として別に基準点（原点）を設けそこからの相対位置を得る必要がある。

## 【 0 0 1 1 】

この場合、正確な絶対位置を得るにはレーザ干渉の出力正弦波の波長（上記例では 0 . 4  $\mu\text{m}$ ）以下の精度の基準点（原点）が必要となってくる。

40

## 【 0 0 1 2 】

特許文献 1 の、変位検出装置におけるフォーカス検出光学系では、被測定面の原点を 4 分割センサの各センサに入射する光量比を検出して求めており、干渉信号を利用していない。

## 【 0 0 1 3 】

この為、被測定面の位置情報を波長オーダーの精度で検出するのが難しい。

## 【 0 0 1 4 】

本発明は、測定後の原点を高精度に設定することができ、被測定物の変位情報（絶対変

50

位情報)を高精度に測定することができる干渉測定装置の提供を目的とする。

【課題を解決するための手段】

【0015】

請求項1の発明の干渉測定装置は、

高可干渉性の第1の光束を放射する第1の光源手段と、

該第1の光束と中心波長が異なる低可干渉性の第2の光束を放射する第2の光源手段と、

該第1の光束と該第2の光束を合波する合波手段と、

該合波された第1及び第2の光束をそれぞれ2つの光束に分割する光分割手段と、

該分割された一方の光束を被測定物の測定反射面に入射させ、

他方の光束を参照面に入射させ、

該測定反射面からの反射光と、該参照面からの反射光を合波して、該分割された2つの第1の光束及び該分割された2つの第2の光束を各々干渉させる干渉部と、

該干渉部において該分割された2つの第1の光束により形成される干渉光と、該分割された2つの第2の光束により形成される干渉光を検出する受光手段とを有し、

該第1の光束により形成される干渉光に基づく第1の信号及び該第2の光束により形成される干渉光に基づく第2の信号の位相差と、該第2の信号の強度とを用いて、該測定反射面に関する測定原点を決定する演算手段とを有する

ことを特徴としている。

【0016】

請求項2の発明は請求項1又は2の発明において、

前記受光手段は、前記分割された2つの第1の光束により形成される干渉光を検出する第1の受光手段と、前記分割された2つの第2の光束により形成される干渉光を検出する第2の受光手段とを有していることを特徴としている。

請求項3の発明は請求項1又は2の発明において、

前記演算手段は、前記第1、第2の信号の位相差がゼロの位置での前記第2の信号の強度に基づいて測定原点を決定することを特徴としている。

請求項4の発明は請求項1乃至3のいずれか1項の発明において、

前記第2の信号は、前記測定反射面と前記光分割手段との光路長と、前記参照面と前記光分割手段との光路長が等しいとき振幅が最大で、該光路長の差に応じて減衰することを特徴としている。

請求項5の発明は請求項1乃至3のいずれか1項の発明において、

前記演算手段は、第1、第2の信号の位相差がゼロの位置のうち、前記第2の信号の強度に基づいて求められた該測定反射面と該参照面のそれぞれと前記光分割手段との光路長が等光路長である位置を、変位情報の測定原点として決定することを特徴としている。

請求項6の発明は請求項5の発明において、

前記演算手段は、第1、第2の信号の位相差がゼロの位置と、前記減衰する前記第2の信号の強度のピーク位置と、に基づいて該測定反射面と該参照面のそれぞれと前記光分割手段との光路長が等光路長の位置を、変位情報の測定原点として決定することを特徴としている。

請求項7の発明は請求項1乃至4のいずれか1項の発明において、

前記光分割手段は、偏光ビームスプリッタより成り、前記合波された第1及び第2の光束を該偏光ビームスプリッタにて2つの直線偏光の光束に分割し、一方の光束を前記測定反射面に入射させて反射させ、他方の光束を前記参照面に入射させて反射させ、それぞれの光束を該偏光ビームスプリッタにて合波し、

前記合波された光束は、1/4波長板によって、該光束の光路長差の変動に基づく位相差の変動に応じた偏光方位が回転する直線偏光に変換され、

前記受光手段は、前記第1の光束に基づく干渉光から前記測定反射面の変位に関する周期信号である前記第1の信号と、前記第2の光束に基づく干渉光から、前記測定反射面と前記光分割手段との光路長と、前記参照面と前記光分割手段との光路長とが等しいとき振幅が最大で該光路長の差に応じて減衰する周期信号である前記第2の信号を発生させること

10

20

30

40

50

特徴としている。

請求項 8 の発明は請求項 1 の発明において、  
前記第 1 及び第 2 の光源手段の発光を交互に ON - OFF し、前記第 1 の光束と前記第 2 の光束の点灯に合わせて各々の干渉光を受光手段で受光し、  
前記演算手段は、第 1 の光束によって形成される前記干渉光に基づく干渉信号波形と第 2 の光束によって形成される前記干渉光に基づく干渉信号波形とを各々推定補間することによって得られた前記第 1 の信号と前記第 2 の信号の信号波形に基づいて前記測定反射面と前記光分割手段の間の光路長と前記参照面と前記光分割手段の間の光路長とが等しい位置を測定原点とすることを特徴としている。

請求項 9 の発明は請求項 1 の発明において、  
前記第 1 又は第 2 の光源手段の一方の駆動を ON - OFF し、一方の光源手段の消灯に合わせて他方の光源手段からの光束に基づく干渉光を前記受光手段で検出し、  
前記演算手段は、該一方の光源手段の点灯に合わせて該第 1 の光束によって形成される前記干渉光に該第 2 の光束によって形成される前記干渉光を重畳した干渉信号波形と、ON - OFF した一方の光源手段からの光束に基づく干渉信号波形または他方の光源手段からの光束に基づく干渉信号波形を推定補間することによって得られた、前記第 1 の信号と前記第 2 の信号の干渉信号波形とに基づいて前記測定反射面と前記光分割手段との光路長と前記参照面と前記光分割手段の間の光路長とが等しい位置を測定原点とすることを特徴としている。

#### 【発明の効果】

#### 【0017】

本発明によれば、測定後の原点を高精度に設定することができ、被測定物の変位情報（絶対変位情報）を高精度に測定することができる干渉測定装置が得られる。

#### 【発明を実施するための最良の形態】

#### 【0018】

本発明の実施例は、シングルモード半導体レーザ等の高可干渉性のレーザ光と同一光学系上に中心波長が高可干渉性のレーザ光と適度に異なるスペクトル半値幅が 30 nm 程度の低可干渉性の光を合波している。そしてこの低可干渉性の光の干渉出力と高可干渉性のレーザ光の干渉出力の位相差と低可干渉性の光の干渉出力の強度情報から原点を検出している。

#### 【0019】

高可干渉性のレーザ光の波長を  $\lambda$ 、低可干渉性の光波長を  $\lambda'$  とし、高可干渉性の光の干渉出力と低可干渉性の光の干渉出力の位相差が所定値、例えばゼロ位置を測定反射面と参照面の光路長差を  $\Delta L$  とする。

#### 【0020】

このとき低可干渉性の光の可干渉範囲で光路長差がゼロを中心に  $\pm \lambda' / 2$ （ $\lambda' / 2$ ）間隔で検出できる。

#### 【0021】

又、低可干渉性の光の可干渉による干渉出力の波形は、被測定反射面が参照面と等光路近辺では干渉出力の波形は高可干渉性のレーザ光の干渉出力波形と略同じで、最大になる。

#### 【0022】

高可干渉性のレーザ光の干渉出力と低可干渉性の光の干渉出力との位相差がゼロの位置と、低可干渉性の光の干渉出力レベルから、光路長差ゼロの位置を検出する。

#### 【0023】

さらに高可干渉性のレーザ光の干渉出力と低可干渉性の光の干渉出力との位相差値で、光路長差がゼロのところの正弦波形干渉出力を特定する。そして高可干渉性のレーザ光の干渉出力と同期した原点を作っている。

#### 【実施例 1】

#### 【0024】

10

20

30

40

50

図 1 ( A )、( B ) は、本発明の実施例 1 の要部側面図と要部平面図である。

【 0 0 2 5 】

実施例 1 は小型の干渉測定装置に原点検出手段を適用したものである。

【 0 0 2 6 】

高可干渉性のシングルモード半導体レーザ L D ( 半導体レーザ L D ) ( 第 1 の光源手段 ) に、レーザ波長 が安定な  $0.78 \mu\text{m}$  の D F B ( Distributed feedback ) レーザを使用している。

【 0 0 2 7 】

低可干渉性のレーザ S L D に、スペクトル半値幅 が約  $10 \text{ nm}$  で中心波長 ' が約  $0.82 \mu\text{m}$  のスーパーluminescentダイオード S L D ( ダイオード S L D ) ( 第 2 の光源手段 ) を用いている。半導体レーザ L D とダイオード S L D のスペクトルは図 2 のように半導体レーザ L D のパワースペクトルは  $0.78 \mu\text{m}$  の輝線であり、ダイオード S L D のパワースペクトルは中心波長  $0.82 \mu\text{m}$  で半値幅が約  $10 \text{ nm}$  の広がりを持つ。

【 0 0 2 8 】

半導体レーザ L D とダイオード S L D から放射された光束を各々コリメータレンズ C O L 1、C O L 2 によりコリメート光 ( 平行光 ) にしている。そしてダイクロイックミラー D M 1 で同一光軸上に合波し、レンズ L N S 1 にハーフミラー N B S を介し、レンズ L N S 2 の焦点面の位置 P 1 に集光照明している。

【 0 0 2 9 】

位置 P 1 からの光束を、該レンズ L N S 2 より、光軸がわずかに斜めの平行光束を射出させ、偏光ビームスプリッタ ( 光分割手段 ) P B S 1 にて偏光成分にて 2 光束に分離する。偏光ビームスプリッタ P B S 1 からの反射光 ( S 偏光 ) を参照ミラー ( 参照面 ) M 1 に入射させ、偏光ビームスプリッタ P B S 1 からの透過光 ( P 偏光 ) を被測定対象面としての測定 ( ミラー ( 測定面 ) ) M 2 に入射させている。そしてそれぞれの反射光を、該偏光ビームスプリッタ P B S 1 を介して合成し、レンズ L N S 2 の焦点面の位置 P 2 に集光照明し、その近傍に設けられた反射膜 M 0 により、元の光路に戻している。位置 P 2 からの反射光はレンズ L N S 2 より平行光束として射出させ、偏光ビームスプリッタ P B S 1 にて 2 光束に分離し、反射光 ( S 偏光 ) で参照ミラー M 1 を照明し、透過光 ( P 偏光 ) で被測定面 ( ミラー ) M 2 を照明している。

【 0 0 3 0 】

それぞれの反射光を、該偏光ビームスプリッタ P B S 1 を介して、レンズ L N S 2 の焦点面の位置 P 1 を集光照明している。

【 0 0 3 1 】

そこから光源側に光束を取り出す。( S 偏光は、参照面 M 1 とビームスプリッタ P B S 1 の間を 2 往復し、P 偏光は、被測定面 M 2 とビームスプリッタ P B S 1 の間を 2 往復する )。これらの光束は、非偏光ビームスプリッタ ( ハーフミラー ) N B S により、受光系側に取り出し、 $1/4$  波長板 Q W P を透過させて、位相差の変化に応じて偏光方位回転する直線偏光に変換する。

【 0 0 3 2 】

その後、光 L D ( 第 1 の光束 ) と光 S L D ( 第 2 の光束 ) を分離するため、集光レンズ C O N、アパーチャー A P を介してビーム分割素子 G B S にて 3 光束に分割し、ダイクロイックミラー D M 1 と同じ構成のダイクロイックミラー D M 2 により L D 光を透過、S L D 光を反射し分離する。ダイクロイックミラー D M 2 を透過した光 L D と、反射した光 S L D の各 3 光束を互いに  $60^\circ$  づつ偏光軸をずらして配置した偏光素子アレイ 3 C H - P O L、及び 3 C H - P O L ' を介して 3 分割受光素子 P D A ( 第 1 の受光手段 )、及び P D A ' ( 第 2 の受光手段 ) の各受光部に入射させている。これにより被測定対象面 ( ミラー ) M 2 の面外変位に基づく 3 つの互いに位相が  $120$  度づつずれた干渉信号 U V W 及び干渉信号 U ' V ' W ' を検出する。

【 0 0 3 3 】

この干渉信号 U V W から、演算手段 S P C で位相が  $90^\circ$  ずれた A 相、B 相を干渉信号

10

20

30

40

50

、 $U'V'W'$  から位相が  $90^\circ$  ずれた  $A'$  相、 $B'$  相を算出している。干渉光  $LD$  の位相は  $\tan^{-1}(B/A)$ 、干渉光  $SLD$  の位相  $\theta'$  は  $\tan^{-1}(B'/A')$  により得られる。干渉光  $LD$  の位相  $\theta$  と干渉光  $SLD$  の位相  $\theta'$  の位相差  $\theta - \theta'$  は被測定面  $M2$  と参照面  $M1$  が等光路のときゼロになる。

【0034】

又光路長を大きくしていくと、干渉光  $LD$  に基づく第1の信号と干渉光  $SLD$  に基づく第2の信号の位相差  $\theta - \theta'$  はリニアに増加し、 $2\pi$ 、すなわち再びゼロになる。

【0035】

ここで干渉光  $SLD$  の出力(第2の信号)の減衰量から被測定面  $M2$  と参照面  $M1$  が等光路でないことが判別でき被測定面  $M2$  と参照面  $M1$  が等光路を原点位置とすることが出来る。即ち、第1、第2の信号の位相差  $\theta - \theta'$  がゼロの位置での第2の信号の強度に基づいて測定原点を決定している。

【0036】

尚、被測定面  $M2$  及び参照面  $M1$  から受光素子  $PDA'$ 、 $PDA$  に至る光路中の部材は干渉部の一要素を形成している。

【0037】

さらに図2にて具体的に説明する。

【0038】

図2は半導体レーザ  $LD$  からの光  $LD$  とダイオード  $SLD$  からの光  $SLD$  のパワースペクトルを示している。

【0039】

半導体レーザ  $LD$  からの光  $LD$  のパワースペクトルは  $0.78 \mu m$  の輝線である。ダイオード  $SLD$  からの光  $SLD$  のパワースペクトルは中心波長  $0.82 \mu m$  で半値幅が  $10 nm$  のローレンツ型のパワースペクトルに近似したものである。光  $SLD$  の中心波長 ( $0.82 \mu m$ ) からの波長ずれ  $\lambda$  に対するパワースペクトル  $S(\lambda)$  は次式による。

【0040】

$$S(\lambda) = \left( \frac{\lambda}{2} \right)^2 / \left\{ \left( \frac{\lambda}{2} \right)^2 + \left( \frac{\lambda}{2} \right)^2 \right\} \cdots (1式)$$

:  $\lambda$  は半値幅を示し、ここでは  $10 nm$  である。

【0041】

図2から図1に示すダイクロイックミラー  $DM1$ 、 $DM2$  は波長  $0.8 \mu m$  近傍に透過、反射特性の境界を持ち、ダイクロイックミラー  $DM1$  で合波、ダイクロイックミラー  $DM2$  で分波することが出来る。

【0042】

半導体レーザ  $LD$  からの光  $LD$  による干渉信号  $UVW$  は十分長い可干渉を持つ。

【0043】

これに対し、ダイオード  $SLD$  からの光  $SLD$  による干渉信号  $U'V'W'$  の可干渉性、ビジビリティ  $V(V1)$  は1式の逆フーリエ変換から次式で近似できる。

【0044】

$$V(V1) = \exp \left\{ - \frac{V1^2}{\lambda^2} \right\} \cdots (2式)$$

:  $\lambda$  は  $SLD$  の中心波長、ここでは  $0.82 \mu m$

:  $V1$  は光路長差

図3は、このときの光路長  $V1$  に対するビジビリティ  $V$  との関係を示す図である。

【0045】

干渉光  $LD$  の  $U$  出力に対応する偏光素子アレイ  $3CH-POL$  の偏光素子  $3CH-POL-1$  と干渉光  $SLD$  の  $U'$  出力に対応する偏光素子アレイ  $3CH-POL'$  の偏光素子  $3CH-POL-1'$  の偏向方向を考える。このとき被測定面  $M2$  と参照面  $M1$  の光路差が所定値のとき、例えばゼロのときピーク位置になる方向に配置する。これによれば干渉光  $LD$  の  $U$  波形および  $A$  相は、被測定面  $M2$  と参照面  $M1$  の光路差がゼロのときを原点とするコサイン波形になり、又  $B$  相はサイン波形となる。

【0046】

10

20

30

40

50

また干渉光 SLD の U' 出力および A' 相も被測定面 M2 が参照面 M1 と等光路を原点とし原点から遠ざかると減衰するコサイン波形状に、B' 相はサイン波形状となる。

【0047】

図4は等光路近傍の半導体レーザLDからの光LDによる理想的な干渉信号UVWを示す。

【0048】

図5は  $A = 2 / 3 \times \{ U - (V + W) / 2 \}$ 、 $B = 1 / 3 \times (V - W)$  の計算により得られた位相が  $90^\circ$  ずれた A 相、B 相を示す。

【0049】

又図6はダイオードSLDからの光SLDによる理想的な干渉信号U'V'W'を示し、図7は  $A' = \{ U' - (V' + W') / 2 \}$ 、 $C = 1 / 3 \times (V' - W')$  の計算により得られた位相が  $90^\circ$  ずれた A' 相、B' 相を示す。

10

【0050】

横軸は被測定面M2と参照面M1との光路差を示し、光は二往復するので被測定面M2の変位は  $1/4$  である。

【0051】

干渉光LDの位相は  $\tan^{-1}(B/A)$  により、干渉光SLDの位相は  $\tan^{-1}(B'/A')$  により計算により得られる。

【0052】

干渉光LDの位相と干渉光SLDの位相の位相差は被測定面M2と参照面M1が等光路のときゼロで、被測定面M2と参照面M1の光路差に対しリニアに変化する。図8は干渉光LDのA相と干渉光SLDのA'相及び干渉光LDの位相と干渉光SLDの位相の位相差を示し、約  $16 \mu\text{m}$  ごと(の点)にゼロとなる。

20

【0053】

そのときは干渉光SLDの出力のビジビリティは

【0054】

【数1】

$$\sqrt{A'^2 + B'^2}$$

30

【0055】

から計算される。図からも判るように被測定面M2と参照面M1が等光路でないことが判別でき、従って被測定面M2が参照面M1と等光路の位置を検出することが出来る。

【0056】

また、光LDの波長  $0.78 \mu\text{m}$  の長さは干渉光LDと干渉光SLDの位相差で  $2 \times 0.78 / 16 = 0.3 \text{ deg}$  である。この為干渉光LDと干渉光SLDの位相差の測定を  $\pm 0.15 \text{ deg}$  以下で測定すれば、等光路位置での干渉光LDの1周期波形を特定することが出来る。

【0057】

このようにして、光LDによる干渉信号と同期し原点を定めることが出来る。

40

【0058】

半導体レーザLDによる干渉信号UVWから作られた  $90^\circ$  位相のずれた干渉信号A, B相は、2往復光路による干渉測長を原理としているので、半導体レーザLDによる干渉信号U源の波長の  $1/4$  を周期とする正弦波状信号である。波長  $0.78 \mu\text{m}$  のレーザダイオードSLDを使用した場合には、周期が  $0.195 \mu\text{m}$  の正弦波信号が得られ、波数を計数し更に  $\tan^{-1}(B/A)$  により位相を計算して、ナノメータオーダーの分解能の相対位置ずれを検出できる。

【0059】

また上記波数計数を上述したように、干渉光LDと干渉光SLDの位相差と干渉光SL

50



Dの干渉性（ビジビリティ）から光路差ゼロを検出してリセットすることで、原点もナノメータオーダー分解能の絶対値測定が可能となる。

【0060】

以上のように本実施例では、干渉部において、光LD同士により形成される測定反射面M2の距離情報に関する第1の干渉信号（周期信号）を得ている。

【0061】

又、光SLD同士により形成される測定反射面M2と参照面M1との距離が等しいとき振幅が最大で、距離に応じて減衰する第2の干渉信号を得ている。

【0062】

そして第2の干渉信号の干渉強度と、第1、第2の干渉信号の位相差が所定値、例えばゼロの位置から測定反射面M2と参照面M1の等光路の位置を、変位情報の測定原点として決定し、絶対変位情報を求めている。

【実施例2】

【0063】

図9は本発明の実施例2の要部概略図である。

【0064】

実施例2は実施例1に比べて次の点が異なっている。

【0065】

（イ）半導体レーザLDとダイオードSLDの駆動を原点検出時に交互にON - OFFする。

【0066】

（ロ）受光系SLDは半導体レーザLDによる干渉信号の受光系LDのうち、偏光素子アレイ3CH - POLと3分割の受光素子PDAを兼ねている。

【0067】

そして各々の点灯に合わせて光LDによる干渉信号UVWと光SLDによる干渉信号U'V'W'を信号処理SPCによってサンプリングし分離している。そして各干渉信号がOFFの間は補間推定し連続した光LDによる干渉信号UVWと光SLDによる干渉信号U'V'W'を得る。

【0068】

（ハ）光LDと光SLDの波長による分離がいらない。

【0069】

こうして得られた光SLDによる干渉信号U'V'W'と光LDによる干渉信号UVWから、実施例1と同様に光LDによる干渉信号と同期し原点を定めている。

【0070】

実施例2は、原点検出時に、ダイオードSLDをON - OFFして時系列でサンプリングする為、被測定面M2の動きがサンプリング周波数より十分遅い必要がある。

【0071】

しかしながら一般に被測定面M2はメカニカルな動きである限り電氣的サンプリングにくらべ一般的遅く、原点検出は容易である。

【実施例3】

【0072】

本発明の実施例3の構成は図9と略同じである。

【0073】

実施例3は、実施例2で半導体レーザLDとダイオードSLDを原点検出時に交互の駆動をON - OFFする代わりに、半導体レーザLDを常時点灯している。

【0074】

そしてダイオードSLDの駆動のON - OFFに合わせている。

【0075】

例えばダイオードSLDがOFFのとき半導体レーザLDによる干渉信号UVWを得ている。

10

20

30

40

50

## 【 0 0 7 6 】

又ダイオード S L D が O N のとき半導体レーザ L D による干渉信号 U V W とダイオード S L D の干渉信号 U ' V ' W ' が重畳した信号を信号処理 S P C によってサンプリングし分離している。そして各干渉信号は推定補間し、連続した干渉信号 U V W と干渉信号 U V W に干渉信号 U ' V ' W ' が重畳した信号を得ている。

## 【 0 0 7 7 】

図 1 0 に測定面 M 2 と参照面 M 1 の光分割手段 P B S から等光路近傍での、推定補間された連続した干渉信号 U V W の信号 U の波形と干渉信号 U V W に干渉信号 U ' V ' W ' が重畳した干渉信号の信号 ( U + U ' ) の波形を示す。

## 【 0 0 7 8 】

干渉信号 U ' V ' W ' は、干渉信号 U V W に干渉信号 U ' V ' W ' が重畳した信号から減算することで得る。こうして得られた光 S L D による干渉信号 U ' V ' W ' と光 L D による干渉信号 U V W から、実施例 1 と同様に光 L D による干渉信号と同期し原点を定めている。

## 【 0 0 7 9 】

本実施例 3 では、半導体レーザ L D を常時点灯としたが、逆にダイオード S L D を常時点灯とし半導体レーザ L D の駆動を O N - O F F しても良い。

## 【 0 0 8 0 】

半導体レーザ L D はレーザ発振を安定化させるため一定温度に維持することが好ましい。

## 【 0 0 8 1 】

しかしながら、O N - O F F すると半導体レーザ素子の熱抵抗のため O N 時に半導体レーザ素子の発光部の温度変化が起き、レーザシングルモード発振が不安定なる恐れがある。このため実施例 3 のように半導体レーザ L D を常時点灯した方が好ましい。

## 【 0 0 8 2 】

以上のように実施例 3 では、2 つの光源手段の一方のみの駆動を O N - O F F している。そして一方の光源手段の消灯に合わせて他方の光源手段からの光束に基づく干渉光を検出している。そして一方の光源手段の点灯に合わせて光 L D の干渉光に光 S L D の干渉光を重ねた干渉波形を受光手段で受光する。

## 【 0 0 8 5 】

そして O N - O F F した一方の光源手段からの光束に基づく干渉信号波形または他方の光源手段からの光束に基づく干渉信号波形を推定補間している。

## 【 0 0 8 6 】

これにより測定反射面 M 2 と参照面 M 1 の光分割手段 P B S からの等光路の位置を測定原点としている。

## 【 0 0 8 7 】

以上説明してきた各実施例では、低可干渉光の光源としてスーパーluminescentダイオード S L D を用い、パワースペクトルをローレンツ型に近似したが厳密には異なり、その場合ビジビリティ及び干渉信号 U ' V ' W ' の包絡線も違ってくる。

## 【 0 0 8 8 】

しかしながらパワースペクトルの半値幅が大きいほど原点のピーク ( 振幅のピーク ) が隣のピークより大きく検知しやすくなり、スペクトルの半値幅が小さいと検知が難しくなる。

## 【 0 0 8 9 】

又高可干渉光のパワースペクトルと低可干渉光パワースペクトルが近いと高可干渉光の干渉信号と低可干渉光の干渉信号の位相差  $\Delta$  がゼロの光路差は広くなり低干渉光のビジビリティでの判別は容易になる。

## 【 0 0 9 0 】

しかしながら光路差の対する位相差  $\Delta$  の変化は小さくなり、原点での低可干渉光の干渉信号の 1 周期波形の特定が困難となる。参照面 M 1 と被測定面 M 2 が等光路長のとき

10

20

30

40

50

の高可干渉光の干渉信号と低可干渉光の干渉信号の位相差  $\psi$  がゼロと、その点で低可干渉光の干渉信号の1周期波形が検出できることが必要である。

【0091】

上記各実施例では、高可干渉光と低可干渉光の合波にダイクロイックミラーを用いたが、光効率は落ちるがハーフミラーを使用すれば簡便である。

【0092】

低可干渉光の小型の光源としては指向性が広く光の利用効率が低い、電流狭窄型の点光源発光ダイオードも有用である。

【0093】

また被測定対象にミラー又はコーナーキューブを用いたガスレーザ干渉測長装置にも適応できる。低可干渉光の光源としてキセノンランプ光源とピンホールからなる白色点光源も有用である。

【0094】

DFBレーザダイオード以外に、安定した高可干渉光源としては一定温度に制御されたシングルモード面発光型半導体レーザ(VCSEL)、He-Ne等のガスレーザ等が適用できる。

【0095】

以上のように各実施例によれば、ナノメートルオーダーの分解能の原点を、レーザ干渉の出力正弦波に同期して得ることができる。

【0096】

従ってナノメートルオーダーの分解能で絶対位置情報を測定することが容易となる。

【図面の簡単な説明】

【0097】

【図1】実施例1の光学配置の概略図

【図2】実施例1の光LD及び光SLDのパワースペクトルの説明図

【図3】実施例1の光SLDのビジビリティの説明図

【図4】実施例1のLD干渉信号UVWの波形出力の説明図

【図5】実施例1の出力の干渉信号UVW波形出力から計算したA相、B相の波形図

【図6】実施例1のSLD干渉信号U'V'W'の波形出力の説明図

【図7】実施例1の出力の干渉信号U'V'W'波形出力から計算したA'相、B'相の説明図

【図8】実施例1の出力のA相、A'相及びLD干渉信号とSLD干渉信号の位相差の説明図

【図9】実施例2の光学配置の説明図

【図10】実施例2の出力の干渉信号Uと干渉信号(U+U')の波形出力の説明図

【符号の説明】

【0098】

LD	シングルモードレーザ光源
SLD	スーパーluminescentダイオード
COL1、COL2、COL3	コリメータレンズ
LNS1、LNS2	レンズ
DM1、DM2	ダイクロイックミラー
PBS	偏光ビームスプリッタ
NBS	非偏光ビームスプリッタ
3CH-POL、POL2	偏光素子
PDA、PDA'	受光素子アレイ
M1	被測定反射面
M2	参照反射面
P1、P2、P3	集光位置
f	焦点距離

10

20

30

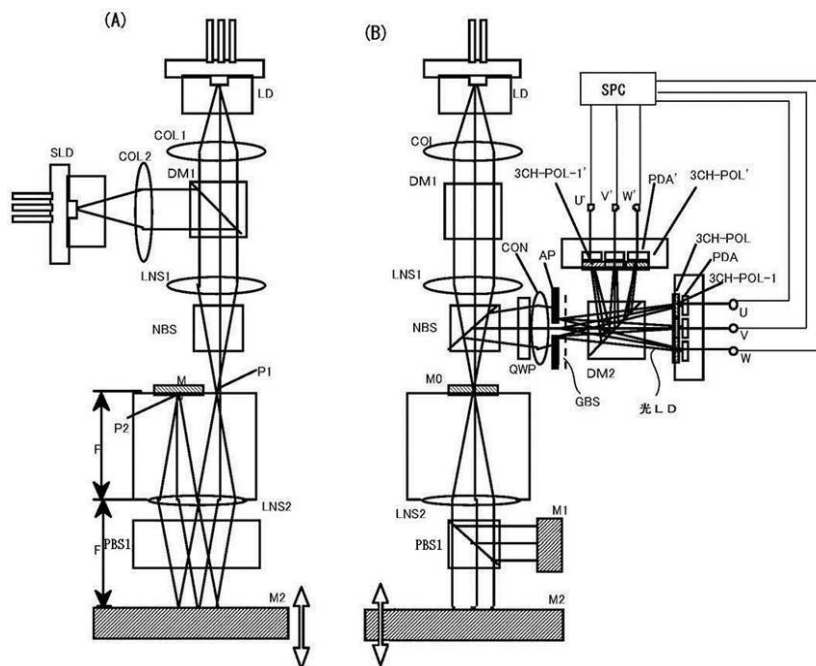
40

50

G B S

光束分割素子

【図 1】

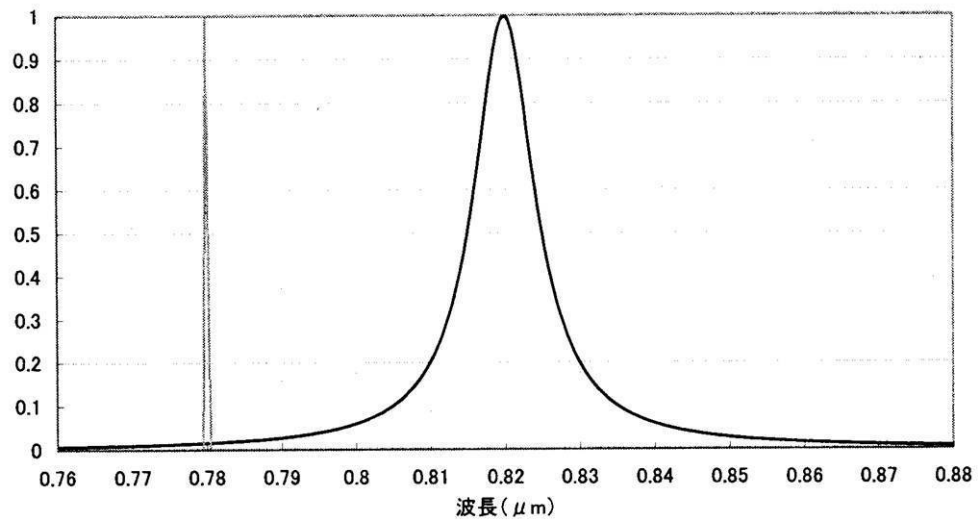


【図 2】

スペクトル

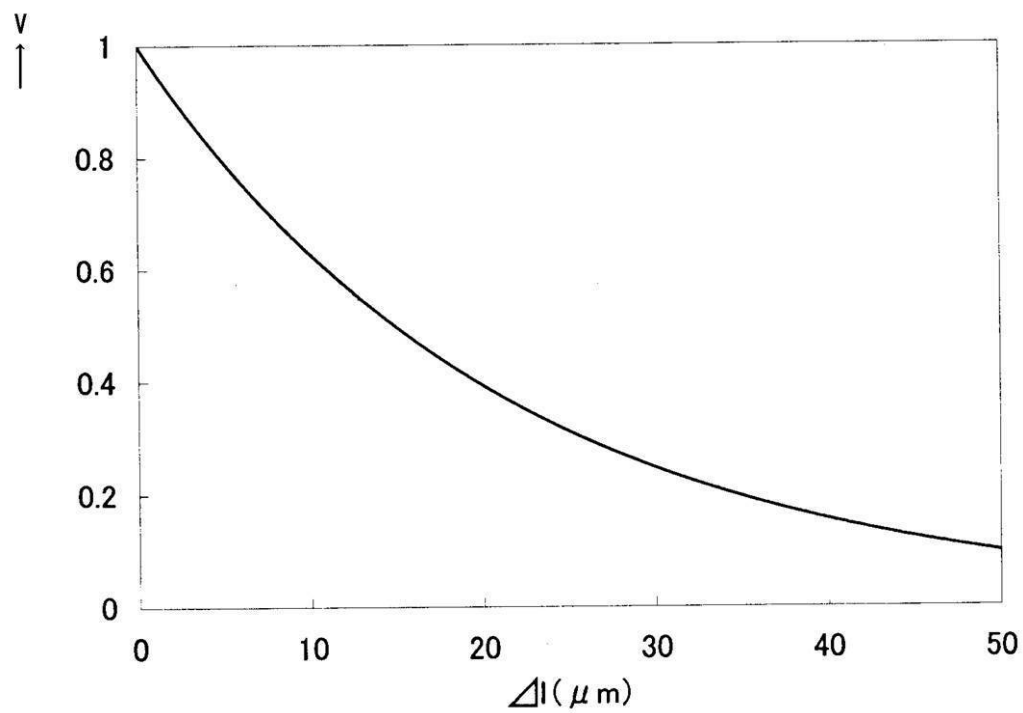
— SLD

--- LD

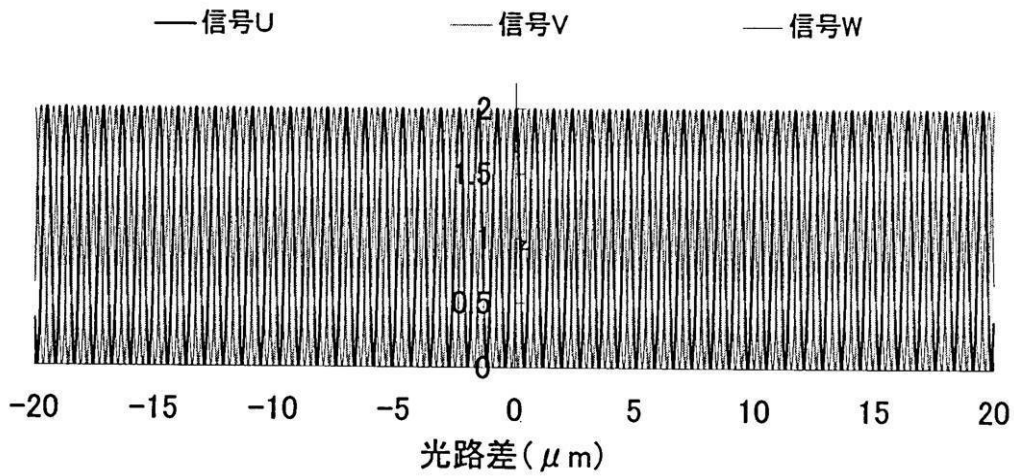


【図 3】

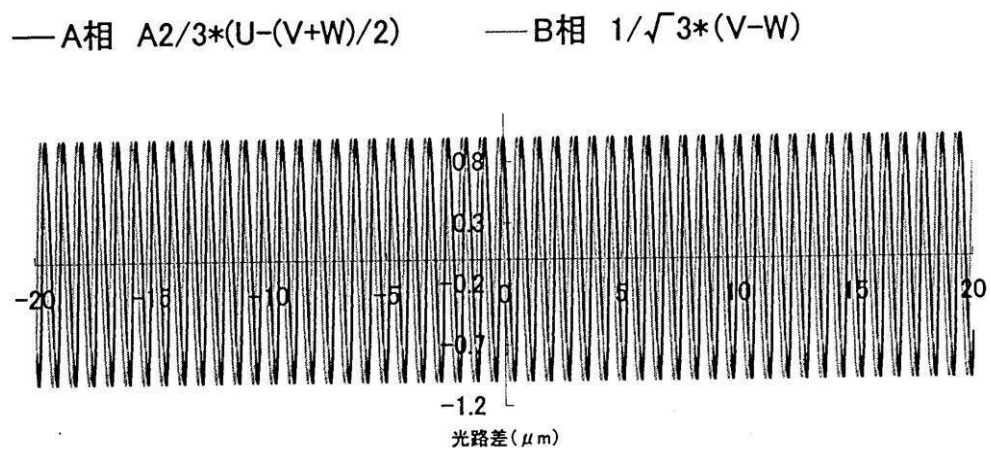
ビジビリティ



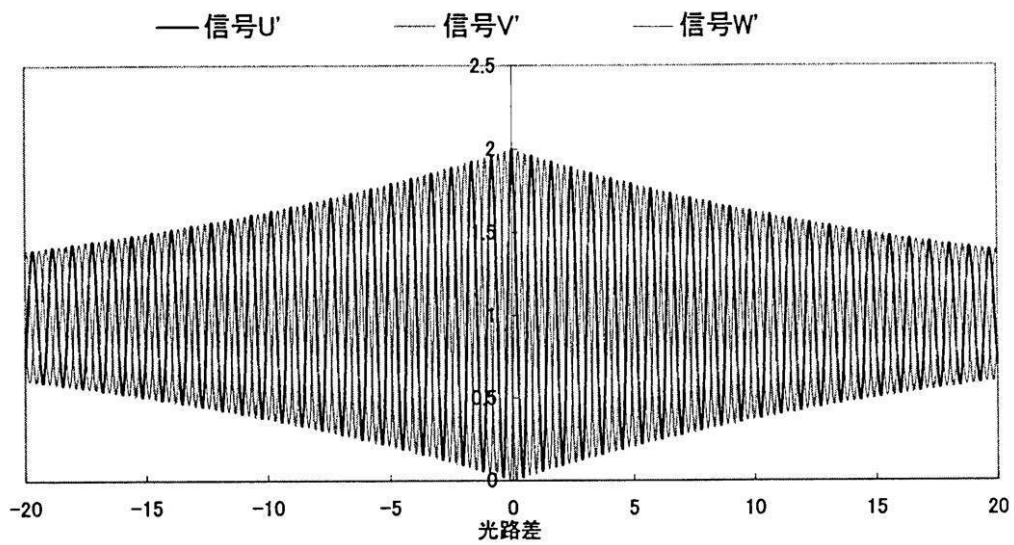
【図 4】



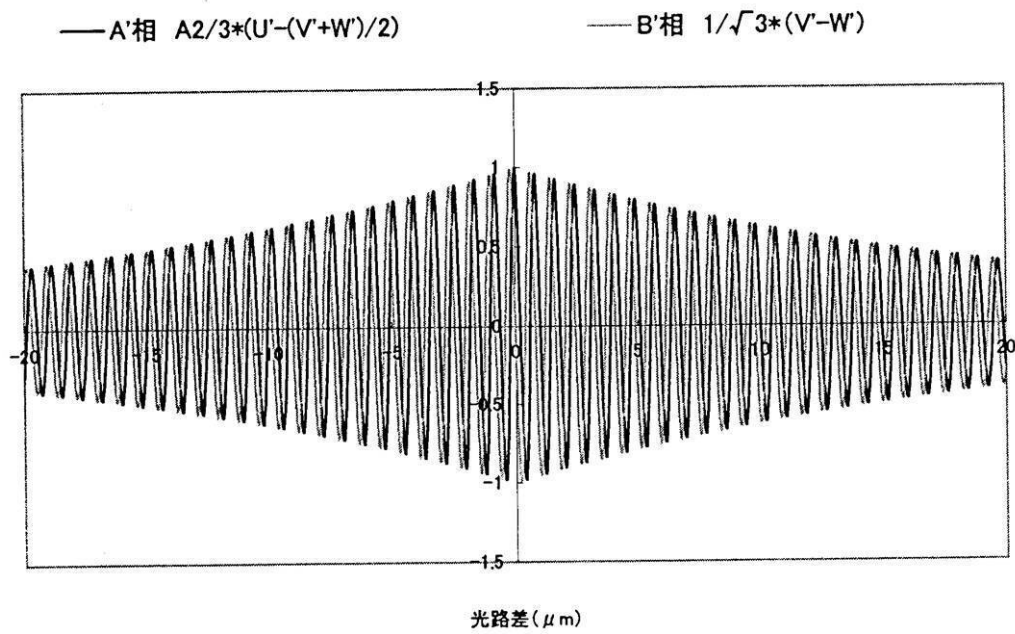
【図 5】



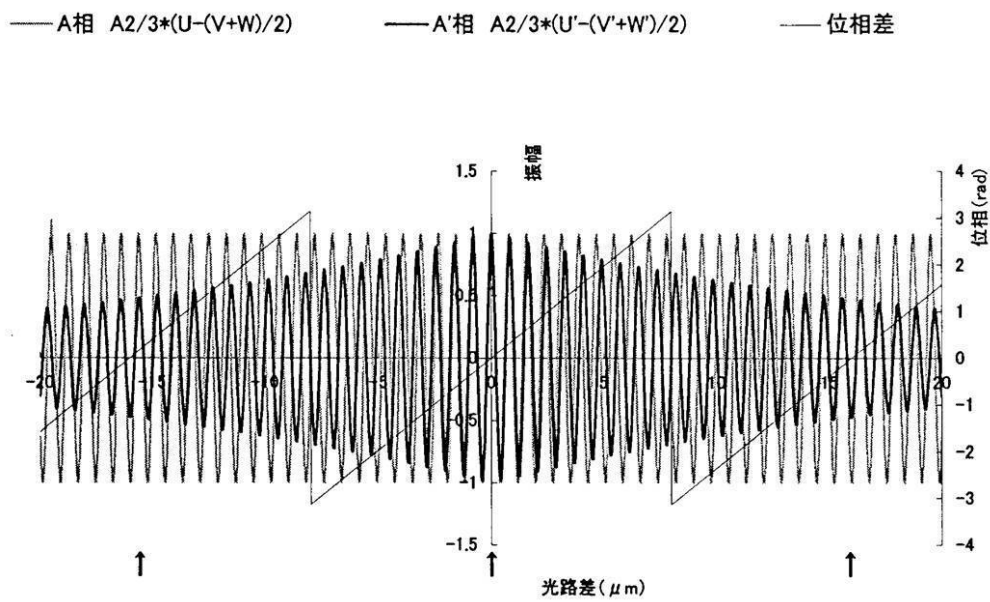
【図 6】



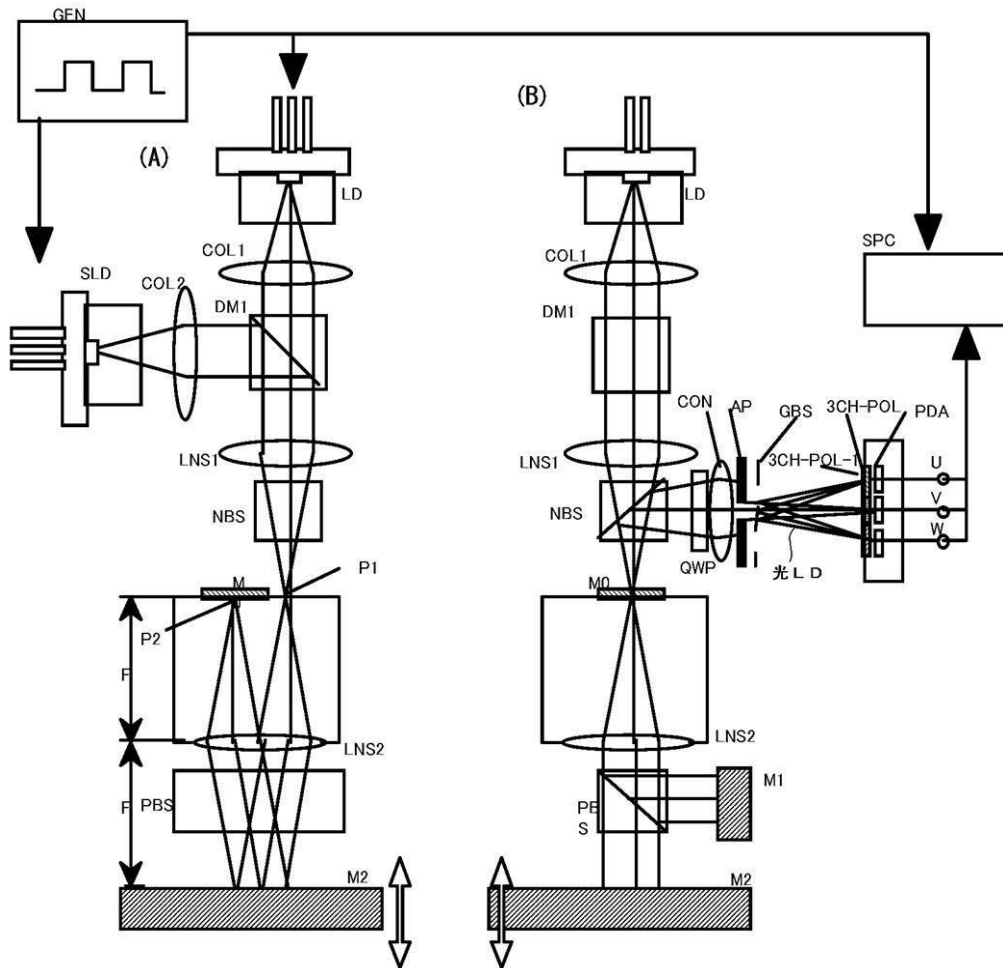
【 図 7 】



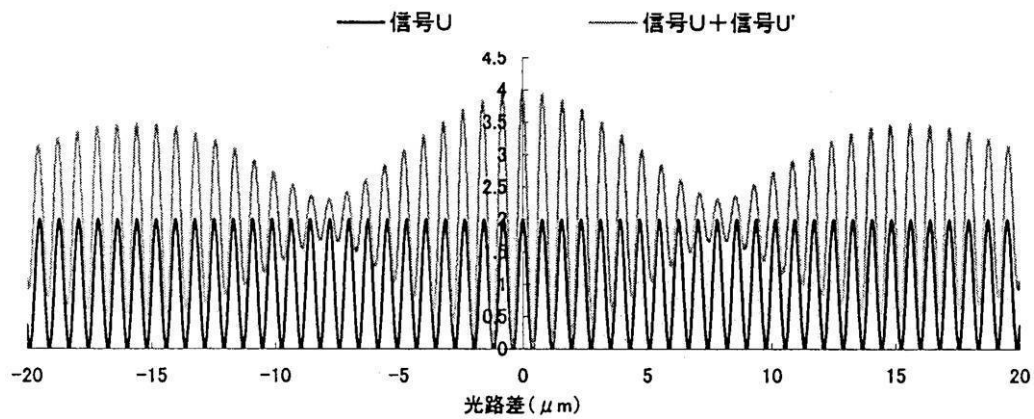
【 図 8 】



【図 9】



【図 10】





---

フロントページの続き

審査官 清藤 弘晃

(56)参考文献 特開平07-190712(JP,A)  
特開2003-344025(JP,A)  
特開平05-149708(JP,A)  
特開2000-258142(JP,A)  
特開昭63-309804(JP,A)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)  
G01B 9/00 - 9/10  
G01B11/00 - 11/30