

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特 許 公 報(B2)

(11) 特許番号

特許第5522910号
(P5522910)

(45) 発行日 平成26年6月18日(2014.6.18)

(24) 登録日 平成26年4月18日(2014.4.18)

(51) Int. Cl.		F I	
GO 1 B	9/02	(2006.01)	GO 1 B 9/02
GO 1 B	11/00	(2006.01)	GO 1 B 11/00 G

請求項の数 24 外国語出願 (全 10 頁)

(21) 出願番号	特願2008-204200 (P2008-204200)	(73) 特許権者	597067574
(22) 出願日	平成20年8月7日(2008.8.7)		ミツビシ・エレクトリック・リサーチ・ラ
(65) 公開番号	特開2009-103686 (P2009-103686A)		ボラトリーズ・インコーポレイテッド
(43) 公開日	平成21年5月14日(2009.5.14)		アメリカ合衆国、マサチューセッツ州、ケ
審査請求日	平成23年6月16日(2011.6.16)		ンブリッジ、ブロードウェイ 201
(31) 優先権主張番号	11/923, 786		201 BROADWAY, CAMBR
(32) 優先日	平成19年10月25日(2007.10.25)		IDGE, MASSACHUSETTS
(33) 優先権主張国	米国 (US)		O 2 1 3 9, U. S. A.
		(74) 代理人	100110423
			弁理士 曾我 道治
		(74) 代理人	100084010
			弁理士 古川 秀利
		(74) 代理人	100094695
			弁理士 鈴木 憲七

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 干渉分光法用の装置、干渉分光法を使用した方法、干渉測定装置

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項 1】

互いに干渉する第 1 の光ビームと第 2 の光ビームの合成ビームの直交変調出力ビームである第 1 の光信号及び第 2 の光信号を生成する光学システムを含む干渉分光法用の装置であって、

第 1 の光信号の強度を第 1 のデジタル信号に、また第 2 の光信号の前記強度を対応する第 2 のデジタル信号に変換するように構成される光 - デジタル変換器であって、前記第 1 のデジタル信号及び対応する前記第 2 のデジタル信号は組み合わせさせてアドレス信号を形成するものと、

前記アドレス信号が直接入力され、前記第 1 の光ビームと前記第 2 の光ビームとの間の干渉に対応するデータ値を記憶するように構成されるメモリであって、前記アドレス信号は前記データ値を直接読み出すものと、

を備える装置。

【請求項 2】

前記光 - デジタル変換器及び前記メモリの動作を同期させるクロックをさらに備える請求項 1 に記載の装置。

【請求項 3】

前記第 1 の光信号及び前記第 2 の光信号を変換して前記データ値を読み出している間に前記メモリに記憶されている前記データ値を動的に適合させる手段をさらに備える請求項 1 に記載の装置。

10

20

【請求項 4】

前記データ値は干渉計の差動距離の直交符号化である請求項 1 に記載の装置。

【請求項 5】

前記データ値は、前記干渉計の 1 つの干渉縞サイクル当たりの前記差動距離の前記直交符号化の複数のサイクルのものである請求項 4 に記載の装置。

【請求項 6】

前記データ値は、前記差動距離の数値表現である請求項 4 に記載の装置。

【請求項 7】

前記データ値は、前記差動距離のグレイコード表現である請求項 1 に記載の装置。

【請求項 8】

前記データ値は、誤り指示コードを含む請求項 1 に記載の装置。

10

【請求項 9】

前記誤り指示は、前記データ値内の 1 つ又は複数の所定のビットで提供される請求項 8 に記載の装置。

【請求項 10】

前記メモリに記憶されている前記データ値は、動作環境に動的に適合している請求項 3 に記載の装置。

【請求項 11】

前記メモリに記憶されている前記データ値は、前記メモリから読み出される前記データ値に動的に適合している請求項 3 に記載の装置。

20

【請求項 12】

前記メモリに記憶されている前記データ値は、前記メモリから読み出される前記データ値を使用するアプリケーションによって動的に適合する請求項 3 に記載の装置。

【請求項 13】

前記光 - デジタル変換器は、
前記第 1 の光信号及び前記第 2 の光信号に接続されるそれぞれの光ダイオードと、
各前記光ダイオードに接続されるそれぞれの増幅器と、
各前記増幅器に接続されるそれぞれのアナログ - デジタル変換器と、
をさらに備える請求項 1 に記載の装置。

【請求項 14】

前記干渉計の分解能は、前記アドレス信号内のビット数に対応する請求項 1 に記載の装置。

30

【請求項 15】

前記データ値は、1 メガヘルツを超えるレートである請求項 1 に記載の装置。

【請求項 16】

前記データ値は、前記メモリのアクセスレートで読み出される請求項 15 に記載の装置。

【請求項 17】

互いに干渉する第 1 の光ビームと第 2 の光ビームの合成ビームの直交変調出力ビームである干渉計によって生成される第 1 の光信号及び第 2 の光信号を処理する干渉分光法を使用した方法であって、

40

第 1 の光信号の強度を第 1 のデジタル信号に、また第 2 の光信号の前記強度を対応する第 2 のデジタル信号に変換し、前記第 1 のデジタル信号及び対応する前記第 2 のデジタル信号を組み合わせるアドレス信号を形成する工程と、

前記第 1 の光ビームと前記第 2 の光ビームとの間の干渉に対応するデータ値を記憶するように構成されるメモリにアクセスし、前記アドレス信号が前記データ値を直接読み出す工程と、

を含む方法。

【請求項 18】

前記光 - デジタル変換器及び前記メモリの動作を同期させる工程をさらに含む請求項 1

50

7に記載の方法。

【請求項19】

前記第1の光信号及び前記第2の光信号を変換して前記データ値を読み出している間に前記メモリに記憶されている前記データ値を動的に適合させる工程をさらに含む請求項17に記載の方法。

【請求項20】

前記データ値は、干渉計の差動距離の直交符号化である請求項17に記載の方法。

【請求項21】

前記データ値は、誤り指示コードを含む請求項17に記載の方法。

【請求項22】

前記メモリに記憶されている前記データ値は、動作環境に動的に適合している請求項19に記載の方法。

【請求項23】

前記干渉計の分解能は、前記アドレス信号内のビット数に対応する請求項20に記載の方法。

【請求項24】

互いに干渉する第1の光ビームと第2の光ビームの合成ビームの直交変調出力ビームである第1の光信号と第2の光信号から前記干渉を測定する干渉測定装置であって、

前記第1の光信号を第1のデジタル信号に変換する手段と、

前記第2の光信号を対応する第2のデジタル信号に変換する手段と、

前記第1の光信号と、対応する前記第2の光信号とを組み合わせる手段と、

前記アドレス信号が直接入力され、前記第1の光ビームと前記第2の光ビームとの間の干渉に対応するデータ値を記憶するように構成されるメモリであって、前記アドレス信号が前記データ値を直接読み出すものと、

を備える装置。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、包括的には光学測定装置に関し、より詳細には高速光干渉計に関する。

【背景技術】

【0002】

干渉分光法は、2つ以上の(電磁)波を重ね合わせて(干渉させて)、波の間の差、すなわちそれらの干渉特性を検出する。最も一般的な干渉計はマイケルソンタイプの干渉計である。マイケルソン干渉計の基本構成要素は、光源、検出器、2つのミラー、及び多くの場合ビームスプリッタと呼ばれる1つの半透明ミラーである。

【0003】

単純な干渉計は、出力波の強度が(波が建設的に干渉する)最大値から最小値(完全な相殺的干渉)まで、そして再び最大値までの完結した1サイクルにわたって往復する時の「干渉縞」をカウントする。これらの強度は正弦波である。この単一の出力のために、単純な干渉計は波の経路における差動距離の変化を検出することはできるが、この変化の方向を検出することはできない。

【0004】

位相整合機構(4分の1波長遅延器のような)を使用して一対の経路を生成する場合(通常、偏光ごとに1つ、2つのビームを同じセットのレンズ及びミラーを通して動作させることによって)、1つの偏光経路は、結果として生じる正弦波強度が遅延されていない経路から90度遅延されるように、4分の1波長遅延器によって遅延される。これにより、干渉計用の一対の出力が与えられる。これらの出力は直交しており、標準的な直交符号化器のように、距離の変化及び変化の方向の両方を検出することができる。

【0005】

10

20

30

40

50

残念ながら、この形態の干渉計の分解能は経路差の波長の4分の1であり、ヘリウム-ネオン(H e N e)レーザを使用する一般的な干渉計の場合、その波長はヘリウム及びネオンの物理特性によって632.818ナノメートルで固定であり、変更することができない。したがって、干渉計の直交出力によって直接符号化される最小距離は632.818ナノメートルの1/4、すなわち158.20ナノメートルである。この4分の1波長距離は時として干渉計の「自然分解能」と呼ばれる。

【0006】

現在の技術水準は、強度補間によって分解能のさらなる利得を提供する。すなわち、遅延されていない経路及び遅延されている経路の相対電力が光ダイオードによって測定され、光ダイオード電流が増幅されてA/D変換器によってデジタル値に変換され、ソフトウェアが使用されてこの対の相対電力値が正弦値及び余弦値として単位円上にマッピングされる。逆正弦値又は逆余弦値のそれぞれが単位円上の2つの可能な角をもたらすため、2つの値は合計で3つの同時に可能な角を単位円上に生じるが、1つの値(重複値)のみが正確である。この単位円角を2で除算したものが、ビーム路が干渉計の0点から変化している波長の少数値であり、現在の技術水準の干渉計では、多くの場合、波長の1パーセント程度に小さいか、又は自然分解能の25倍であり得る。

10

【0007】

従来の方法の欠点は、読取値の2つの部分が異なるタイプのものであることである。4分の1波長の数はリアルタイムの直交符号化による読取値であり、一方で波長の少数値は或る時間量だけ遅延されたソフトウェア補間の結果である。これらの値を一緒にすることによってさらに大きな遅延が生じ、したがって干渉計システム全体は現在の位置において報告せず、通常は過去の少なくとも50マイクロ秒である、過去の或る時点の位置において報告する。これは、約20KHzの更新レートに相当し、ハミングの原理(Hamming the orem)によって、このレートの半分(10KHz)よりも大きい動きはこのような干渉計によっては検出することができない。

20

【0008】

従来技術の干渉計はそれらの速度においていくらか、通常は約20KHzの範囲内に、多くの場合はさらに低く大幅に制限されている。多くの市販されている干渉計は10Hz~20Hz程度の低い更新レートを有する。従来技術の干渉計は通常固定されており、特定の動作条件用に構成されている。干渉計の動作をリアルタイムで変更することは、多くの場合不可能である。

30

【0009】

干渉計の速度を少なくとも千倍、すなわち三桁(10^3)増加させて十分にメガヘルツの範囲にすることが望まれている。実際に、速度を、干渉計の速度が光信号の強度がデジタル信号に変換される速度によって主に制限されるように増加させることが望まれている。したがって、変換の速度が増加するにつれて、本発明を使用する干渉計の速度も増加する。干渉計をその動作特性及び環境に動的に適合させることも望まれている。

【0010】

実験科学としての干渉分光法の概念は、1907年にノーベル賞を受賞したAlbert Michelsonにまでさかのぼる。R. C. Mooreは米国特許第4,583,856号において、コンピュータを使用してレーザ干渉計の干渉縞以下の分解能を計算している。距離測定干渉計が市販されている。4DTechnology製の最上位機種レーザ干渉計は、30マイクロ秒のサンプリング時間、及び1フレーム時間内の更新、すなわち20KHzの最終更新レートで動作する。Canonマイクロレーザ干渉計は動作範囲を+/-50マイクロメートルに制限し、このマイクロ干渉計は100KHzで更新することができる。

40

【発明の開示】

【発明が解決しようとする課題】

【0011】

本発明の1つの目的は、干渉計測の速度を十分にMHz範囲又はそれ以上に容易に増加させることである。

50

【 0 0 1 2 】

本発明の別の目的は、干渉計の複数の出力フォーマットをまとめて、干渉計の測定値を読み取るあらゆる装置が干渉計の出力を、それがグレイコード、整数、直交符号化パルス、又はあらゆる他の任意のフォーマットのいずれが有用であり得るかにかかわらず、所望の任意のフォーマットの値として読み取ることができるようにすることである。したがって、干渉計を、おそらく装置が動作している間に、又はその動作特性及びその動作環境に応答して任意の所望のデータフォーマットに動的に構成可能にすることが望まれている。

【課題を解決するための手段】

【 0 0 1 3 】

干渉計は、互いに干渉する第 1 の光信号及び第 2 の光信号を生成する。

10

【 0 0 1 4 】

光信号はデジタル信号形式のアドレスに変換される。メモリは第 1 の光信号及び第 2 の光信号に対応するデータ値を記憶し、アドレスが使用されてそのアドレスに記憶されているデータ値が直接読み出される。

【 0 0 1 5 】

メモリに記憶されているデータ値は、第 1 の光信号及び第 2 の光信号を変換してデータ値を読み出している間に動的に適合しているようにすることができる。

【発明の効果】

【 0 0 1 6 】

本発明の実施の形態は、メモリベースの高速干渉計を提供する。干渉光信号の強度がメモリ入力アドレスに変換される。出力データ値が入力アドレスにおいてメモリから直接読み出される。したがって、干渉計が動作する速度は、主にメモリが動作するレートによって制限される。干渉計はメモリベースであるため、記憶されているデータ値を動作環境に適合させることができる。

20

【発明を実施するための最良の形態】

【 0 0 1 7 】

干渉分光法

本発明は、従来の光学構成に光ダイオード、増幅器、A/D変換器及びメモリを追加したマイケルソンスタイルの直交レーザ干渉計を含む。A/D変換器は、干渉光信号の変化強度をメモリアドレスの形態のデジタル信号に変更する。

30

【 0 0 1 8 】

ダイレクトアクセスメモリ

メモリに直接アクセスすることによって、2つの直交符号化干渉計ビーム信号の振幅(強度)が任意の所望の直交符号化位置信号に変換される。高速経路は、A/D変換器の後に、待ち時間の長いソフトウェア又は電子装置を一切含まない。もちろん、メモリから読み出されるデータの下流の処理はソフトウェアを使用することができ、ソフトウェアを使用してシステムを構成するか、又は動作中にメモリの内容を更新することができるが、これらの動作は高速測定経路に影響を与えない。

【 0 0 1 9 】

本発明の一実施の形態は、A/D変換器の結果を使用して、光ダイオード信号のその特定の強度のセットの所望の出力状態に対応するデータがあらかじめロードされているROMメモリ又はRAMメモリにおける位置を直接且つ一意にアドレス指定する(読み出す)。この出力状態は、異なる(且つ非常に短い)波長で動作している干渉計をシミュレートする直交符号化出力、波長の少数値、又は、そのフォーマットが最初の直交レーザ干渉計波長のすべての整数倍を繰り返す限り、任意の他の所望の出力フォーマットとすることができる。

40

【 0 0 2 0 】

本発明の干渉計は、光信号の強度が最大値から最小値までの完結した1サイクルにわたって往復する干渉縞をカウントすることができる。本発明の干渉計は、光信号の経路内の差動距離の変化及び方向を検出することができる。具体的には、干渉計の1つの干渉縞サ

50

イクル当たりの差動距離の複数のサイクルである、干渉計の差動距離の直交符号化を提供することができる。

【 0 0 2 1 】

符号化

メモリからの出力状態は直交符号化値には限定されない。たとえば、正確に機能する干渉計が経験することが「不可能な」状況は、その状況を反映する指示コードを出力している可能性がある。たとえば、正確に動作する直交干渉計では、2つのビームの値は、決して両方とも0にはならず、決して両方とも最大値にはならず、また決して両方とも中間の定数にはならない。0のデータ値はレーザの故障を示し、一方で最大データ値は第1のビームスプリッタ表面上の汚染を示す。中間の定数におけるビームの両方の値は、基準ビーム又は標的ビームのいずれかがずれていることを示す。これらの誤り指示状態及びその他はすべて本発明によってリアルタイムで検出可能である。この状態をデータ値内の1つ又は複数の所定のビットで指示することができる。

10

【 0 0 2 2 】

アップダウンカウンタ

本発明の別の実施の形態は、閾値化干渉計ビーム出力によって直接増加又は減少させられる直交アップダウンカウンタを追加する。このアップダウンカウンタの出力は、メモリのアドレス指定における追加ビットとして使用され、本発明に、アップダウンカウンタによってサポートされる範囲全体にわたって所望であるような一意の出力コードを出力する能力を付与する。

20

【 0 0 2 3 】

動的適合干渉計

本発明の別の実施の形態では、干渉計の動作を、取得する測定値の特性、又は干渉計が動作する環境条件、たとえば気温、気圧、湿度、測定される装置又は測定されるシステムの制御システムの状態及びコマンドに、動的に適合させる。このタイプの動作は、メモリが直接、高速測定経路内にあることによって可能となる。

【 0 0 2 4 】

たとえば、本発明は、精密工作機械において適応的に使用することができ、ここで、工作機械コンピュータ数値制御(CNC)コントローラが、干渉計に、最初に「較正モード」になって、メモリ値を構成して、機械の動きの全範囲を測定するように機械の軸を回転させながら機械の動きの全範囲にわたって精度を最適化し、次いで、「較正」中に計算された最適な値のセットが工作機械の制御を支援するように最高MHz速度で使用される「測定」モードに入るように命令する。

30

【 0 0 2 5 】

別の例では、工作機械の周囲の空気の温度、圧力及び湿度が百万分率レベルで光の速度に影響を与える。本発明のメモリを動的に且つ適応的にリロードすることによって、大気圧、気温及び湿度の影響を無効化することができ、不利な動作条件下で正確な干渉法による距離測定値を得ることができる。

【 0 0 2 6 】

干渉計の構造及び動作の概説

図1は、本発明の基本的な構造上の構成要素及び動作を示す。環境5内に配置される干渉計10は、第1の信号11及び第2の信号12を生成する。光信号の強度は独立して、アドレス25の形態の第1のデジタル信号21及び第2のデジタル信号22に変換される(20)。

40

【 0 0 2 7 】

メモリ30は、干渉計10が生成することができる可能な(及び不可能な)光信号に対応するデータ値31を記憶する。アドレス25は、メモリ30に直接アクセスして、メモリ30のアドレス入力ライン24を介してアクセスされる出力データ値32を得るために使用される。

【 0 0 2 8 】

50

メモリ30のアドレス入力25は、O/D変換器20が動作するレートにクロッキング(同期)する(23)ことができる。

【0029】

通常、干渉計の出力データ値32は、たとえばデジタル信号プロセッサ(DSP)40及びアプリケーション50によってさらに処理される。本発明の一実施の形態では、DSPは、たとえばデータ32、又は、干渉計10が動作する環境5からの他の入力信号14に基づいて、メモリ30を動的にリロードする(45)か又は他の方法で再構成する。データ値はアプリケーションによって適合させることもできる。

【0030】

詳細な干渉計の構造及び動作

図2は、本発明の一実施の形態の詳細を示す。直交レーザ干渉計100は、レーザ101によって生成される一対のコヒーレントなレーザビーム110及び130を2つの反射器111及び131に向け、次いで返ってきたビームを合成して、それぞれ反射器111及び131の相対的な位置のずれを符号化する一対の直交変調出力ビーム112及び132を生成する。ミラー、ビームスプリッタ、遅延器のようなすべての光学構成要素は従来のものである。

【0031】

ビーム112及び132は、それぞれ光ダイオード113及び133によって光電流に変換される。光電流は相互コンダクタンス増幅器に入力される。相互コンダクタンス増幅器は、それぞれフィードバック抵抗115及び135を有するオペアンプ114及び134を含む。

【0032】

出力電圧は、それぞれフィードバックネットワーク抵抗117及び118並びに137及び138を有するオペアンプ116及び136によって増幅される。

【0033】

光信号112及び132の強度を表す電圧は、それぞれアナログ-デジタル変換器119及び139によってデジタル信号に変換される。

【0034】

出力デジタル化電圧バス120及び140はそれぞれNビット幅であり、並列化されて2×Nビット幅のアドレスバス150を形成する。2×Nビット幅のアドレスバス150は、2×Nビットの入力アドレス空間及びJビットの出力データワード幅を有するメモリ160のアドレス入力に適用される。従来、直交符号化器は通常、単一の出力ビットしか生成しないことに留意されたい。本発明の変換器は複数、たとえば16以上のビットを生成することができ、干渉計の分解能が大幅に向上する。

【0035】

メモリ160には、0～2の2×N乗の範囲内の各可能なアドレスに所望の出力データ値があらかじめロードされている。

【0036】

メモリ160は、所望の出力データ値170を、さらなる処理のために外部のシステム及びアプリケーションに利用可能な任意のバッファ/増幅器に出力する。

【0037】

アップダウンカウンタ

図3は、直交入力アップダウンカウンタ245を有する本発明の別の実施の形態を示す。

【0038】

直交レーザ干渉計200は、一対のコヒーレントなレーザビーム210及び230を2つの反射器211及び231に向け、次いで返ってきたビームを合成して、それぞれ反射器211及び231の相対的な位置のずれを符号化する一対の直交変調出力ビーム212及び232を生成する。

【0039】

10

20

30

40

50

これらのビームは、それぞれ光ダイオード 2 1 3 及び 2 3 3 によって光電流に変換される。光電流は、それぞれフィードバック抵抗 2 1 5 及び 2 3 5 を有するオペアンプ 2 1 4 及び 2 3 4 から成る相互コンダクタンス増幅器に入力され、出力電圧は、それぞれフィードバックネットワーク抵抗 2 1 7 及び 2 1 8 並びに 2 3 7 及び 2 3 8 を有するオペアンプ 2 1 6 及び 2 3 6 によって増幅される。

【 0 0 4 0 】

次いで、電圧は、それぞれアナログ - デジタル変換器 2 1 9 及び 2 3 9 によってデジタル信号に変換される。出力デジタル化電圧バス 2 2 0 及び 2 4 0 はそれぞれ N ビット幅であり、並列化されて $2 \times N$ ビット幅のバスを形成する。

【 0 0 4 1 】

加えて、各変換器 2 1 9 及び 2 3 9 の高位のビット 2 2 1 及び 2 4 1 がそれぞれ直交入力アップダウンカウンタ 2 4 5 に加えられる。カウンタの出力は K ビット幅である。

【 0 0 4 2 】

$2 \times N$ ビット幅のバスが K ビット幅のアップダウンカウンタ出力 2 4 6 に結合されて $2 \times N + K$ ビット幅のアドレスバス 2 5 0 が形成される。

【 0 0 4 3 】

このアドレスバス 2 5 0 は、 $0 \sim 2$ の $2 \times N + K$ 乗の範囲内の各可能なアドレスの所望の出力状態をあらかじめロードされている、 $2 \times N + K$ ビット幅の入力アドレス空間及び J ビットの出力データワード幅を有するメモリ 2 6 0 のアドレス入力に直接適用される。メモリ 2 6 0 は、記憶しているデータ値の所望の出力 2 7 0 を、外部のシステム及びアプリケーションに利用可能な最後のバッファ / 増幅器に出力する。

【 0 0 4 4 】

本発明を好ましい実施の形態の例として説明してきたが、さまざまな他の適合及び変更を本発明の精神及び範囲内で行うことができることは理解されたい。したがって、添付の特許請求の範囲の目的は、本発明の真の精神及び範囲に入るこのようなすべての変形及び変更を包含することである。

【 図面の簡単な説明 】

【 0 0 4 5 】

【 図 1 】 本発明の一実施の形態による干渉計及び対応する方法のブロック図である。

【 図 2 】 本発明の一実施の形態による干渉計の詳細なブロック図である。

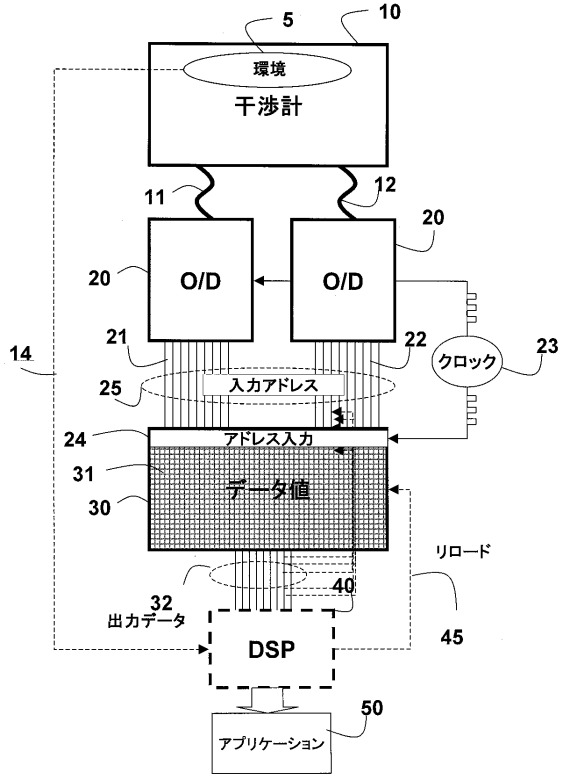
【 図 3 】 本発明の別の実施の形態による干渉計の詳細なブロック図である。

10

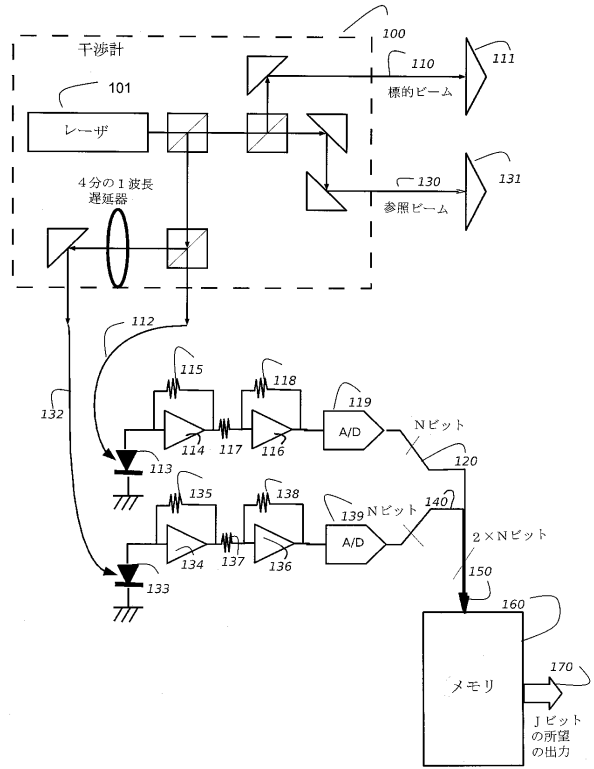
20

30

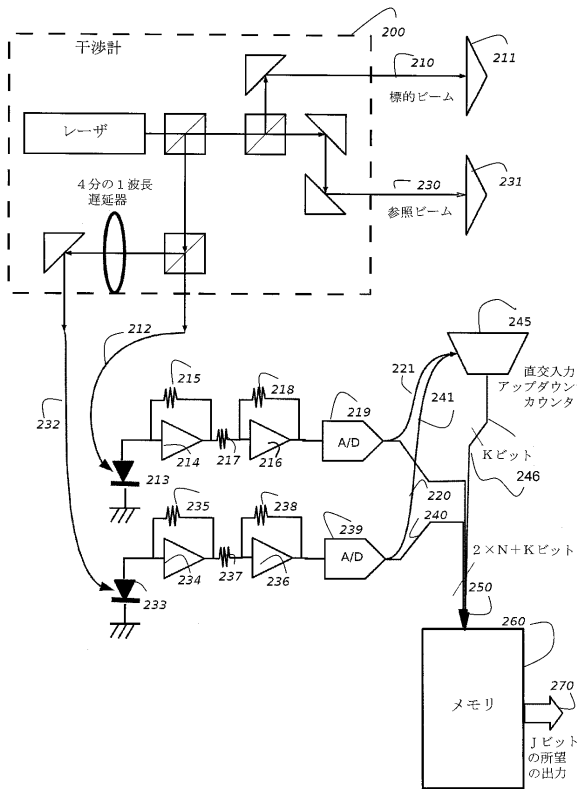
【図1】



【図2】



【図3】



フロントページの続き

(74)代理人 100111648

弁理士 梶並 順

(74)代理人 100122437

弁理士 大宅 一宏

(74)代理人 100147566

弁理士 上田 俊一

(72)発明者 ウィリアム・エス・イエラズニス

アメリカ合衆国、マサチューセッツ州、アクトン、ナッシュ・ロード 24

(72)発明者 ダーク・プリंकマン

アメリカ合衆国、マサチューセッツ州、ケンブリッジ、ファロン・ブレース 9

審査官 有家 秀郎

(56)参考文献 特開2002-202203(JP,A)

特開2001-099716(JP,A)

特開平07-012510(JP,A)

特開2001-208513(JP,A)

特開平10-146736(JP,A)

特開2007-096374(JP,A)

特表平02-500218(JP,A)

特開2007-266688(JP,A)

特開2002-118050(JP,A)

特開平10-318827(JP,A)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

G01B 9/00 - 11/30

G01J 3/45