

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特許公報(B2)

(11) 特許番号

特許第4008730号  
(P4008730)

(45) 発行日 平成19年11月14日(2007.11.14)

(24) 登録日 平成19年9月7日(2007.9.7)

(51) Int. Cl.	F I	
GO 1 N 21/95 (2006.01)	GO 1 N 21/95	A
GO 1 B 11/06 (2006.01)	GO 1 B 11/06	Z
GO 1 B 11/30 (2006.01)	GO 1 B 11/30	A
GO 1 N 21/956 (2006.01)	GO 1 B 11/30	I O 2 Z
G 1 1 B 5/84 (2006.01)	GO 1 N 21/956	A

請求項の数 18 (全 18 頁) 最終頁に続く

(21) 出願番号	特願2002-85531 (P2002-85531)	(73) 特許権者	505453804
(22) 出願日	平成14年3月26日(2002.3.26)		ケーエルエーテンコール テクノロジーズ コーポレーション
(65) 公開番号	特開2002-365232 (P2002-365232A)		アメリカ合衆国, カリフォルニア 95035, ミルピタス, ワン テクノロジー
(43) 公開日	平成14年12月18日(2002.12.18)		ドライブ
審査請求日	平成17年3月25日(2005.3.25)	(74) 代理人	100099759
(31) 優先権主張番号	09/818199		弁理士 青木 篤
(32) 優先日	平成13年3月26日(2001.3.26)	(74) 代理人	100092624
(33) 優先権主張国	米国 (US)		弁理士 鶴田 準一
(31) 優先権主張番号	09/861280	(74) 代理人	100102819
(32) 優先日	平成13年5月18日(2001.5.18)		弁理士 島田 哲郎
(33) 優先権主張国	米国 (US)	(74) 代理人	100110489
			弁理士 篠崎 正海

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 組み合わせ式高速光学粗面計及び偏光解析器

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

第1の対象の両側部から反射された光信号間の位相差を計測するための装置において、この装置が、

第1の入射平面において該第1の対象の第1の面に向かって第1の入射光信号を伝送するための第1の光源と、

該第1の面で反射された第1の反射光信号から、第1の位相を有する第1の混合された反射偏光光信号構成要素と、該第1の位相とは異なる第2の位相を有する第2の混合された反射偏光光信号構成要素とを分離するための第1の偏光スプリッタであって、該第1の偏光スプリッタにおいて、該第1の混合された反射偏光光信号構成要素は、該第1の入射光信号の入射平面に対してP偏光光及びS偏光光を共に具備しており、該第2の混合された反射偏光光信号構成要素は、該第1の入射光信号の入射平面に対してP偏光光及びS偏光光を共に具備する、第1の偏光スプリッタと、

該第1の混合された反射偏光光信号構成要素の第1の強度を検知するための第1の検知器と、

該第2の混合された反射偏光光信号構成要素の第2の強度を検知するための第2の検知器と、

該第1と第2の強度に基づいて、該第1と第2の混合された反射偏光光信号構成要素間の第1の位相差を決定するための第1の位相決定器と、

第1の入射平面とは異なる第2の入射平面において、該第1の対象の第2の面に向かっ

て第 2 の入射光信号を伝送するための第 2 の光源と、

該第 2 の面で反射された第 2 の反射光信号から、第 3 の位相を有する第 3 の混合された反射偏光光信号構成要素と、該第 3 の位相とは異なる第 4 の位相を有する第 4 の混合された反射偏光光信号構成要素とを分離するための第 2 の偏光スプリッタであって、該第 2 の偏光スプリッタにおいて、該第 3 の混合された反射偏光光信号構成要素は、前記第 2 の入射光信号の入射平面に対して P 偏光光及び S 偏光光を共に具備しており、前記第 4 の混合された反射偏光光信号構成要素は、前記第 2 の入射光信号の入射平面に対して P 偏光光及び S 偏光光を共に具備する、第 2 の偏光スプリッタと、

該第 3 の混合された反射偏光光信号構成要素の第 3 の強度を検知するための第 3 の検知器と、

10

該第 4 の混合された反射偏光光信号構成要素の第 4 の強度を検知するための第 4 の検知器と、更に

該第 3 と第 4 の強度に基づいて、該第 3 と第 4 の混合された反射偏光光信号構成要素間の第 2 の位相差を決定するための第 2 の位相決定器と、  
を具備する装置。

【請求項 2】

該第 1 の対象が、磁気ディスク又はシリコンウエファーのいずれか一方である請求項 1 に記載の装置。

【請求項 3】

該第 1 の対象が透明なガラス基板である請求項 1 に記載の装置。

20

【請求項 4】

該第 1 の位相差に基づいて、該第 1 の面上の潤滑剤の厚みを決定するための第 1 の厚み決定器を更に具備する請求項 2 に記載の装置。

【請求項 5】

該第 2 の位相差に基づいて、該第 2 の面上の潤滑剤の厚みを決定するための第 2 の厚み決定器を更に具備する請求項 4 に記載の装置。

【請求項 6】

該第 1 の位相差に基づいて、該第 1 の面上のカーボン層の厚みを決定するための第 1 のカーボン厚み決定器を更に具備する請求項 2 に記載の装置。

【請求項 7】

該第 2 の位相差に基づいて、該第 2 の面のカーボン層の厚みを決定するための第 2 のカーボン厚み決定器を更に具備する請求項 6 に記載の装置。

30

【請求項 8】

該第 1 の位相差に基づいて、該第 1 の面の磁気特性を決定するための第 1 の磁気識別器を更に具備する請求項 2 に記載の装置。

【請求項 9】

該第 2 の位相差に基づいて、該第 2 の面の磁気特性を決定するための第 2 の磁気識別器を更に具備する請求項 8 に記載の装置。

【請求項 10】

該第 1 の位相差に基づいて、該第 1 の面の磁気光力ー効果を計測するための第 1 の力ー効果決定器を更に具備する請求項 2 に記載の装置。

40

【請求項 11】

該第 1 と第 2 の強度に基づいて、前記第 1 の面上の第 1 の位置に第 1 の欠陥が存在するかどうかを決定するための第 1 の欠陥決定器を更に具備する請求項 2 に記載の装置。

【請求項 12】

2 つの光信号の各々の位相のずれを計測するための方法において、この方法が、  
第 1 の入射平面において第 1 の対象の第 1 の面に向かって第 1 の入射光信号を伝送する手順と

該第 1 の面で反射された第 1 の反射光信号から、第 1 の位相を有する第 1 の混合された反射偏光光信号構成要素と、該第 1 の位相とは異なる第 2 の位相を有する第 2 の混合され

50

た反射偏光光信号構成要素とを分離する手順であって、この手順において、前記第1の混合された反射偏光光信号構成要素は、該第1の入射光信号の入射平面に対してP偏光光及びS偏光光を共に具備しており、前記第2の混合された反射偏光光信号構成要素は、該第1の入射光信号の入射平面に対してP偏光光及びS偏光光を共に具備する、分離する手順と、

該第1の混合された反射偏光光信号構成要素の第1の強度を検知する手順と、

該第2の混合された反射偏光光信号構成要素の第2の強度を検知する手順と、

該第1と第2の強度に基づいて、該第1と第2の混合された反射偏光光信号構成要素間の第1の位相差を決定する手順と、

前記第1の入射平面とは異なる第2の入射平面において、該第1の対象の第2の面に向かって第2の入射光信号を伝送する手順と、 10

該第2の面で反射された第2の反射光信号から、第3の位相を有する第3の混合された反射偏光光信号構成要素と、該第3の位相とは異なる第4の位相を有する第4の混合された反射偏光光信号構成要素とを分離する手順であって、この手順において、前記第3の混合された反射偏光光信号構成要素は、前記第2の入射光信号の入射平面に対してP偏光光及びS偏光光を共に具備しており、前記第4の混合された反射偏光光信号構成要素は、前記第2の入射光信号の入射平面に対してP偏光光及びS偏光光を共に具備する、分離する手順と、

該第3の混合された反射偏光光信号構成要素の第3の強度を検知する手順と、

該第4の混合された反射偏光光信号構成要素の第4の強度を検知する手順と、更に 20

該第3と第4の強度に基づいて、該第3と第4の混合された反射偏光光信号構成要素間の第2の位相差を決定する手順と、

を具備する方法。

#### 【請求項13】

前記第1の入射平面と前記第2の入射平面はお互いに実質的に垂直である請求項12に記載の方法。

#### 【請求項14】

該第1の対象が、磁気ディスク又はシリコンウエファーのいずれか一方である請求項12に記載の方法。

#### 【請求項15】

該第1の対象が透明なガラス基板である請求項12に記載の方法。 30

#### 【請求項16】

該第1の対象の前記第1の面の第1の位相ずれイメージを生成する手順と、

該第1の対象の前記第1の面の第2の位相ずれイメージを生成する手順と、更に

前記第1の位相ずれイメージと前記第2の位相ずれイメージを共に加えて、該第1の対象の前記第1の面上の模様により生成された信号を減少させる手順と、

を更に具備する請求項12に記載の方法。

#### 【請求項17】

該第1の対象の前記第1の面の第1の位相ずれイメージを生成する手順と、

該第1の対象の前記第1の面の第2の位相ずれイメージを生成する手順と、更に 40

前記第1の位相ずれイメージを前記第2の位相ずれイメージから差し引いて、該第1の対象の前記第1の面上の模様により生成された信号を減少させる手順と、

を更に具備する請求項12に記載の方法。

#### 【請求項18】

前記第2の入射光信号を伝送する手順の後で、該第1の対象の第2の面で反射した光信号を遮断して、該第1の対象の前記第2の面で反射された該光信号の検知を阻止する手順を更に具備する請求項12に記載の方法。

#### 【発明の詳細な説明】

#### 【0001】

#### 【発明の属する技術分野】

本発明は、薄膜の計測及びシリコンウエファー、磁気薄膜ディスク及び透明で被覆されたガラス基部上の欠陥の計測を目的としており、より特別には、薄膜の吸収層の非ブルースター角 (non-Brewster's angle) を含む多くの角度において薄膜ディスクの方向を向くレーザーを使用して、薄膜厚みの計測及び摩耗、面粗度、引っ掻き傷、粒子、歪み、窪み、マウンド、表面地形、段差高さ及び含有物の計測を目的とする。

#### 【0002】

##### 【従来の技術】

被覆された薄膜ディスクは、半導体及び磁気ハードディスクの工業分野を含む種々の工業分野において使用される。コンピュータ用ハードディスク(磁気記憶装置)は不揮発性メモリデバイスであり、そのメモリデバイスは多量のデータを貯蔵可能である。ハードディスクの製造者が経験する1つの問題は、ハードディスクの稼働寿命を最大にする方法である。ハードディスクが故障すると、そこに貯蔵されたデータを回復することは、困難か、高価か又は不可能であり得る。ハードディスクの不具合は、薄膜ディスクの表面における欠陥により生じ得る。これらの欠陥を検知し分類し得ることは、ディスクドライブの故障の防止及び製造工程の管理のために、非常に重大である。

#### 【0003】

磁気記憶装置において使用される薄膜ディスクの図解図を図1に示す。それは、基部108(一般的にNiPメッキされたAl-Mg合金又はガラス)上に沈積された磁気薄膜(層)106を具備する。磁気薄膜106は、薄膜カーボン104(カーボン層)により保護可能であり、例えばその厚みは一般的に20から200オングストローム(Angstrom)である。カーボン層104は一般的に、フルオロカーボン潤滑剤102(潤滑層)の薄層により(10から30オングストローム)により被覆される。潤滑剤102は、特に磁気読み/書きヘッドがディスクに接触する場合に、例えばディスクドライブが切られた場合に、設けられたカーボン層104の耐久性を増大するように作用する。ハードディスクドライブの分野は、薄膜ディスクの表面のより近くに薄膜ヘッドを飛ばすこと(flying)により記憶容量を劇的に改善してきた。その結果非常に小さな欠陥でさえもハードドライブの誤作動を生じ得る。これらの欠陥は、例えば引っ掻き傷、窪み、マウンド又は粒子等の形状的な(topographic)ものであり得るか、又は歪みや含有物等の非形状的なものであり得る。欠陥の全てのタイプを計測してディスク製造工程を管理し、更にディスクドライブ製造の歩留まりを改善することが必要である。

#### 【0004】

半導体ウエファーの図解図が図2に示される。半導体ウエファーの構造は非常に複雑であり得るが、図2は銅の二重ダマスкас(damascene)プロセスが実施されたウエファーの単に一例を示す。図2を参照すると、銅層201と、第2のプラズマ促進式(enhanced)化学蒸着(PECVD)酸化層202と、第1のPECVD酸化層203と更にシリコン基部204が図示される。銅層201は、経路孔及び銅線だけが残るまで、化学機械式研磨(CMP)プロセスにより研磨される。問題は、CMPプロセスが残余の銅、窒化物、又はCMPスラリをウエファー表面に残す可能性があることである。更に、歪み、粒子、引っ掻き傷及び微細な波形状が研磨ウエファー上に存在する可能性があることである。その様な欠陥を検知計測してウエファー製造プロセスを管理することが必要である。より欠陥が少ないことがまた、プロセスの終了において、よりウエファー歩留まりが良いことを意味するであろう。

#### 【0005】

##### 【発明が解決しようとする課題】

ハードディスク、半導体及び光通信の分野における問題は、例えば粒子、引っ掻き傷、窪み、マウンド、歪み、形状的な不規則性及び含有物等の欠陥に関するこれらの磁気ディスク及びウエファーの検査である。これらの問題を解決する従来技術は、米国特許第4,674,875号、米国特許第5,694,214号、米国特許第5,748,305号及び米国特許第6,157,444号に開示される。これらの特許は、基本的に複雑なスカタロメーター(scatterometers)及び反射計を使用して欠陥を計測する技

10

20

30

40

50

術を開示する。これらの装置（システム）において、形状的及び非形状的欠陥の同時計測が可能なのはない。本発明は、組み合わせ式反射計、スキャタロメーター、偏光解析器、粗面計及びカー効果（K e r r e f f e c t）顕微鏡の使用によりこの計測を可能にする。

【 0 0 0 6 】

必要なものは、薄膜ディスク、シリコンウエファー及び透明ウエファーの検査用装置（システム）及び方法であり、即ち、（ 1 ） 形状的及び非形状的欠陥の計測、（ 2 ） これらの基部上の光学的外形の計測、（ 3 ） 同時計測の実施可能、（ 4 ） 薄膜の厚みの計測、（ 5 ） パターン又は非パターンのシリコン又は光通信用ウエファーにおける計測可能、（ 6 ） 現場又はラインにおける実施、（ 7 ） 透明基部の一方側だけの計測、の装置（システム）及び方法である。

10

【 0 0 0 7 】

【課題を解決するための手段】

形状的及び非形状的欠陥の計測、及び薄膜磁気ディスク、シリコンウエファー及び透明基部における形状の計測のための装置（システム）及び方法。本発明は、薄膜ディスク又はシリコンウエファー上の欠陥の高さの計測を可能にしており、第 1 の角度において薄膜磁気ディスク上の第 1 の位置に向かって第 1 の信号を発生するための第 1 の電磁式信号発生源と、第 2 の角度において薄膜磁気ディスク上の第 1 の位置に向かって第 2 の信号を発生するための第 2 の電磁式信号発生源と、第 1 の位置を変化するために対象を回転するための回転（スピニング）装置と、対象から反射する該第 1 の信号の一部分を受信するために

20

【 0 0 0 8 】

且つ第 1 の信号の半径方向部分（ S 1 r ）及び該第 1 の信号の円周方向部分（ S 1 c ）を決定するための第 1 の位置検知器と、対象から反射する第 2 の信号の反射された部分を受信するために且つ第 2 の信号の半径方向部分（ S 2 r ）及び第 2 の信号の円周方向部分（ S 2 c ）を決定するために第 1 の位置検知器から直角で位置決めされた第 2 の位置検知器と、を有する。

本装置（システム）はまた、 S 2 c と S 1 c 間の相違に基づいた第 1 の位置の高さを決定するためのプロセッサを具備しており、それは傾斜情報を具備しない。本装置はまた、光学的波動の位相ずれ（シフト）の計測により形状的及び非形状的欠陥の計測を可能にする。本発明の形態は、データから半導体パターンを除く能力であり、更にパターン化された

30

【 0 0 0 9 】

【発明の実施の形態】

本発明の好適な実施の形態は、同様な参照番号が同一又は機能的に同様である要素を指定する図面を参照して開示される。また図面において、各参照番号の左の最大部の数字は、参照番号が最初に使用される図面に対応する。

【 0 0 1 0 】

図 3 は、本発明の一実施の形態に従う薄膜の特性計測のための装置の図面である。装置は焦点を合わせられる（ f o c v s e d ）レーザー光信号を使用しており、その伝搬角度（図 3 に示されるように）は、法線から 0 度と法線から 9 0 度との間にあることができる。

40

【 0 0 1 1 】

装置 3 0 0 の一実施の形態は、例えばカリフォルニア、 S u n n y v a l l e の H o e t r o n 社によりコリメートされた（ c o l l i m a t e d ）日本の京都のローム（ R o l m ）社から入手可能な R L D 6 5 M Z T 1 又は R L D - 7 8 M D 等の従来のレーザーダイオード 3 0 1 と、例えばカリフォルニア、 I r v i n e の N e w p o r t 社から市販で入手可能な例えば P o l a r c o r から製造された従来のリニア（直線）偏光器（ポラライザ） 3 0 2 と、カリフォルニア、 L i v e r m o r e の C V I L a s e r から市販で入手

50

可能な従来のゼロオーダー（次）の半波長板（half wave plate）303と、カリフォルニア、IrvineのNewport社から市販で入手可能な従来の焦点調整（focusing）レンズ304と、カリフォルニア、IrvineのNewport社から市販で入手可能な従来の鏡305と308と、を具備する。Newport社より手配可能なコリメート（collimating）レンズ309と、CVI Laser社より入手可能なゼロオーダー（次）の四分の一波長板310と、CVI Laser社より入手可能な入射板に対して45度で回転される従来の偏光ビームスプリッタ312と、日本の浜松市のはままつ（浜松）社から入手可能な一對の従来の四分儀（クアドラント）検知器311と313と、カリフォルニア、CamarilloのAdvanced Photonix社より入手可能な従来のアバランシェ（avalanche）フォトダイオード314と、半波長板303を回転するためのカリフォルニア、BurlingameのMaxon Precision Motorsより入手可能な従来のモーター315。

10

【0012】

装置300が本発明の一実施の形態であること及びこれとは別の設計が本発明から逸脱することなく使用可能であることは、当業者には明白であろう。装置300のオペレーションは以下でより詳細に説明される。

【0013】

レーザーダイオード301は、薄膜ディスク、シリコンウエファー、光通信ウエファー又はガラス基部306に対して電磁信号を発する。実施の形態において電磁信号は、広い種類の波長が使用可能であるが、780又は655ナノメートル（nm）の波長を有する光信号である。光信号の伝搬の角度は0から90度の間の任意の角度であり得る。

20

【0014】

レーザーダイオードがレーザー出力を監視するための内部のフォトダイオード有することは良く知られている。光の強度を制御するためのフィードバック制御回路の実施の形態は、レーザーダイオードの内部にあるフォトダイオードを使用することである。このフォトダイオードはレーザーダイオードの内部にあり、負のフィードバック回路に制御信号をフィードバックしており、そうすることによりレーザーの強さを一定値で保持する。レーザーの出力を概略一定に保持するこれとは別の手段は、レーザーダイオードの電流を制御すること、即ちダイオードレーザーを定電流モードで作動することである。レーザーダイオードは、月の期間での出力の非常に遅い減少を示す。スキャン時間が5ないし10分より短い限り、レーザーの光学的出力はスキャンにおいて一定に保持される。この技術の利点はその単純性にある。

30

【0015】

レーザー出力の長期間のドリフト（ずれ）は、標準の反射器を最初に計測することにより及びこれを使用して計測された信号を正規化する（normalize）ことにより装置（システム）の外でキャリブレーションされても良い。信号の値は、標準の（既知の）反射器について最初に計測されて、その後ディスク又はウエファーが計測される。標準の反射器の計測に任意のドリフトが存在した場合には、全てのデータはこのドリフト量に関して訂正される。結局長期間のドリフトは、定電流モードで運転される場合でさえも補正されても良い。発せられた光はリニア偏光器302を通過する。リニア偏光器302はレーザー光信号のリニア偏光を改善する。

40

【0016】

リニアに偏光された光は機械的に回転可能なゼロオーダーの半波長板303を通過する。半波長板303は小型モータ315に固定されており、該モータは、P偏光（入射平面に平行）、S偏光（入射平面に垂直）及び45度偏光（PとSの間）との間で偏光を動的に回転可能である。偏光は、焦点調整レンズ304を通過して、回転鏡305により、薄膜磁気ディスク、シリコンウエファー又は透明基部306に向けられる。反射信号は別の回転鏡308により検知光学系に向けられて、別のレンズ309によりリコリメートされる。信号の散乱構成要素は、アバランシェフォトダイオード314により検知される。リコ

50

リレートされたビームは、ゼロオーダーの四分の一波長板 310 を通過し、該四分の一波長板 310 は、ビームの偏光を調整するように使用されるので、等量のエネルギーが四分儀検知器 313 と 311 に向けられる。四分の一波長板 310 を通過後にビームは、入射平面に 45 度で回転された偏光ビームスプリッタ 312 により分割される。これとは別の実施の形態において、偏光ビームスプリッタは、Wollaston プリズム又は Glan Thompson 又は Rochon プリズムのビームスプリッタであっても良い。スプリットビームは、2 つの四分儀検知器 313 と 311 に向けられる。四分儀検知器は、スプリットビーム間の位相ずれ (シフト)、反射率 (reflectivity)、半径方向及び円周方向における光学的プロファイル (形状)、及びカー回転 (もし基部 306 の膜が磁性である場合には) を計算するように使用される。四分儀検知器からの出力は、従来のアナログ - デジタル変換器によりデジタル化されて、従来のパソコンのメモリーに送られる。信号はその後パソコンにより解析されて、欠陥を検知し、形状を計測し、更に歪みが計測される。全体の光学装置 300 は、半径方向に該装置を駆動するステージ上に設置される一方で、モータ 307 はサンプル 306 を回転する。この方法においてサンプル 306 の全面は、欠陥をスキャンされても良い。

10

#### 【0017】

スピンドル又はモータはディスクを高速で回転しており、例えば 360 回転する際に 1024 パルス発生するエンコーダを具備する。このエンコーダは、ディスク周囲の円周位置を決定するように使用される。本発明は、ディスクの円周周りの位置の決定において非常に高い解像度を適用することが好ましい。このことは、位相ロックループ (phase locked loop) を使用して実施されて、選択可能な係数 (ファクタ) をエンコーダ信号に乗ずる。位相ロックループは 1024 のエンコーダパルスを乗じており、エンコーダにおける任意の速度ジッタ (jitter) を追跡する能力を有する。この形態は、横の解像度の損失無しで、繰り返される回転の平均化の実施を可能にする。即ち、その後の (subsequent) 回転はお互いに位相内にあり、平均化する場合に結果生じる像はジッタ効果により損傷され (smeared) ない。平均化は信号 - ノイズ比を改善するように実施される。

20

#### 【0018】

図 4 は、光学粗面計の頂面図の設計を示しており、それは高さだけで且つ直接高さを計測可能であり、即ちそれは傾斜を計測しないで高さを計測可能である。それはまた、高さに依存しない面の傾斜も計測可能である。これは、傾斜と高さを共に同時に計測する以前の光学粗面計とは異なる。その様な装置により高さは、傾斜情報の積分により傾斜データから求められる。しかしもし傾斜情報が、高さ情報により悪影響を与えられる場合には、積分は正しい面形状を与えない。問題は、高さ情報のみを含んでいて傾斜と高さの両者の組み合わせを含まないデータを求めることである。図 4 から 7 を参照して図示され説明される設計により、2 つのレーザーとお互いに対して直角の向きを有する 2 つの位置検知用検知器 (PSD) の使用によりこれが実現される。

30

#### 【0019】

位置検知用検知器 (PSD) は、四分儀検知器であり、それは図 4 に示すような向きである。PSD は、適切な PSD 四分儀 (quadrants) を減じることにより半径方向及び円周方向においてビームの変位を計測する。レーザービームが計測されるべき対象の面に沿って移動する際に、面の粗さ及び波動は、面の傾斜に応じてレーザービームを四分儀検知器上で「揺れ動か (wiggle)」す。四分儀検知器は、一对の四分儀の合計を別の対の合計から減じることによりこれを計測する。例えば図 6 を参照すると、円周方向の面の傾斜は、 $[(A1+B1) - (C1+D1)] / [A1+B1+C1+D1]$  で与えられており、ここで分母の 4 つの四分儀の合計は、反射率の相違に関して正規化する (normalize) ために使用される。同時にもし検知器からの面の平均距離が変化すると、四分儀検知器におけるビームの平均位置は変化する。上記の等式における結果生じる相違の信号は、実際に面高さに相違が発生すると、傾斜の変化を記録する。問題は、傾斜変化を高さ変化から分離可能であることである。これは、半径方向における傾斜を考慮することにより実現可能であり

40

50

、それは図6を参照して求められて更に $[(A1+D1) - (B1+C1)] / [A1+B1+C1+D1]$  で与えられる。半径方向の傾斜に関する等式は、半径方向におけるビームの「揺れ動き」を計測する。半径方向の傾斜の場合において、もし検知器からの面の平均距離が変化する場合には、ビームは単純に、 $A1+D1$ を $B1+C1$ から分離する線に沿って動く。結果として半径方向の傾斜信号は、面高さが変化する場合に変化せず、半径方向の傾斜に関する等式は傾斜だけを記録し、高さの変化は記録しない。

#### 【0020】

レーザービームの向きが90度(図4のレーザー2とPSD2による様に)で回転される場合に、半径方向及び円周方向の傾斜の挙動は逆である。レーザー2とPSD2の場合において、円周方向の傾斜の等式は、傾斜の変化のみを記録し、高さの変化は記録しない。他方においてレーザー2に関して、半径方向の傾斜の等式は、傾斜と高さの変化の両者を記録する。レーザー1と2の両者の出力ビームは面(図4に示すように)上の同じ位置に配置されるので、レーザー1とPSD1からの半径方向の傾斜の等式を、レーザー2とPSD2からの半径方向の傾斜の等式から減じることが可能である。結果生じる減算は、高さ情報だけを含み、傾斜情報は含まない。レーザー1とPSD1からの円周方向の傾斜の等式を、レーザー2とPSD2からの円周方向の傾斜の等式から減じることにより同じ情報を求めることもまた可能である。半径方向の傾斜(高さ情報なし)は、レーザー1とPSD1からの半径方向の傾斜の等式の選択により求めることが可能である。円周方向の傾斜(高さ情報なし)は、レーザー2とPSD2からの円周方向の傾斜の等式の選択により求めることが可能である。この方法において、面の高さの変化及び傾斜の変化を独立に計測することが可能である。

#### 【0021】

本光学式粗面計のこれとは別の実施の形態において図5に示すように、単一のレーザーが使用されており、複合角度の方向を有する50/50の鏡504は、第2のビームを図5の502の符号の位置を向く面に向かわせる。50/50の鏡504を通過するビームは、図5の501の符号の位置を向く面に向かわせる。計測されるべき対象の全面は、両ビームによりスキャンされて、面の少なくとも2つの像を生じる。生じる像は記憶されてデジタルでシフトされるので、生じる像は同じx、y位置で形状計測される(profiled)対象を有する。結果生じて送られる像はその後、上記のような方法で高さ形状を与えるために減じられても良い。本実施の形態の利点は、それが単一のレーザーだけを使用し且つ少ない光学構成要素を使用しており、更に2つのビームのビーム形状が同一であることである。

#### 【0022】

レーザー1とPSD1は通常、半径方向の信号 $S_r$ と円周方向の信号 $S_c$ を計測する。しかしPSDの性質は、傾斜情報に加えて、高さ情報により悪影響されるレーザー1とPSD1からの $S_c$ を生じる。レーザー1とPSD1からの $S_r$ は傾斜情報のみを含む。レーザー2とPSD2はまた通常は、半径方向と円周方向の傾斜を計測する。しかしレーザー2とPSD2からの $S_r$ は、レーザー1とPSD1からの $S_r$ のように、同じ位置で傾斜と高さの両者を計測する。結果として真の高さの変化は、レーザー2とPSD2からの $S_r$ をレーザー1とPSD1からの $S_r$ から減じることにより求め得る。即ち傾斜情報は、PSD2からの $S_r$ をPSD1からの $S_r$ から減じることにより削除し、高さ情報のみを残す。

#### 【0023】

同様な結果は、傾斜情報のみを含むPSD2からの $S_c$ を減じることにより求め得る。結果としてPSD2からの $S_c$ をPSD1からの $S_c$ から減じるとは、高さ情報のみを含むデータを与える。結果は高さの直接計測である。この技術の利点は、それが高さの直接計測を与えており、それが高速で非接触な方法で実施可能であることである。この技術はまた、90度の段差角度で段差高さを計測可能である。従来の装置は、傾斜の計測を使用しており、90度段差高さを計測は可能ではない。

#### 【0024】

10

20

30

40

50

図6は光学粗面計の側面図の設計を示す。この図は、側面図の設計を簡単に示すために、レーザー1とPSD1のみを示す。図6において、光学粗面計は、薄膜ディスク又はウエファーの上に配置されており、ディスク又は半導体ウエファーが回転される間に、半径方向に移送されることが分かる。

【0025】

図6に示される入射角度( )は、特定の用途に関して選択可能である。任意の入射角度は、垂直入射以外は選択可能であり、ここではPSDは高さの感度(sensitivity)は有さない。透明基部を含む用途に関して、面からの反射信号を増大するために、45度より大きい角度を選択可能である。入射角度が増大するので、高さの感度はまた、ファクター(係数) $\sin(\ ) / \cos^2(\ )$ により増大する。このファクターのプロットは図7に示される。このことは、必須ではないが概略60度以上の入射角度が最適であると暗示する。60度より大きな角度において感度は増大し、透明面からの信号は増大する。本発明では、2つのレーザーの焦点が合わされたスポットの寸法は実質的に同一であり、レーザースポットは出来る限り接近して重なることが必要である。

10

【0026】

磁気記録産業における問題は、ディスク製造の最終テスト段階における欠陥に関する薄膜ディスクの検査である。薄膜ディスクの製造において、薄膜ディスクの両側が同時に検査される必要がある。問題はディスクとチャック(ディスクを保持する)との間の間隙が25.4mm(1インチ)以下(図13参照、1304)しかないことである。このことは、光学系(optics)が、ディスクとチャックとの間の小さな空間内に当てられるために小型化されることが必要である(図13参照)。この問題の解決案は、図8, 9, 10と11の光学設計の使用により実現可能である。これらの設計は、従来の装置に関して幾つかの重要な改善を有しており、装置の性能を低下させないで小型化の設計を可能にする。先ず第1に該設計は、レーザーダイオード801内に具備される内部フィードバックフォトダイオードを使用して、光信号のDCレベルの安定化を実現する。第2に入射角度は、計測器の高さを減少するように調整されるので、それは25.4mm(1インチ)空間要求の範囲内で適合する。第3に計測器の面形状計測能力の形態は、図8と9に示される位相(phase)/スペキュラー(specular)検知器808と809内に組み込まれる。位置検知用検知器808と809(四分儀検知器)は、位相検知器、スペキュラー検知器の両者、及び形状計測用検知器として機能する。

20

30

【0027】

第4に寸法は、図8に示されるWollastonプリズム807の代わりであって図9に示される偏光ビームスプリッター901の使用により減じられても良い。偏光ビームスプリッター807即ちWollastonプリズム901は、入射平面に対して45度で回される。本発明のこれとは別の実施の形態では、ビームを非垂直構成要素に分割するビームスプリッターが使用可能であり、それは以降のセクションにおいて検討される。第5に2つの球状の鏡1004と1006を使用してビームを図10に示されるようなディスクに向けることは、横の寸法におけるサイズを減少する。鏡1004と1006は、図10に示されるように複合角度で調整される。これはまた、“A”方向に沿った図10の図である図11に示されており、そこでは複合角度にある鏡は、1102と1104である。これらの鏡はビーム1103をディスク又はウエファー1101に向ける。ビームをディスクに向けるのに加えて、球状の鏡はまたビームを小さなスポットに焦点を結ばせる。球状の鏡の使用に対するこれとは別の実施の形態は、図12に示される焦点調整レンズ1201との組み合わせで平面鏡1202と1203を使用することである。ビームがディスクを当たる点の上に配置されるシリコン光検知器又はアバランシェフォトダイオード1204が図12にやはり示される。この要素は、サブミクロン粒子の検知を可能にする。アバランシェフォトダイオード1204はカリフォルニア、CamariilloのAdvanced Photonix社より入手可能である。

40

【0028】

図8を参照するとダイオードレーザー801からのレーザービームは、リニア偏光器80

50

2を通過して、更に焦点調整レンズ803を通過しディスク又はウエファ－804に当たる。面からの反射においてビームは、リコリメートレンズ805、四分の一波長板806及びWollastonプリズム807等の偏光ビームスプリッタを通過しており、Wollastonプリズム807等の偏光ビームスプリッタは、入射平面に対して45度で及び2つの四分儀検知器808と809において回転される。

【0029】

図8を参照するとスペキュラー信号は、位置検知用検知器1, 809からの信号と、位置検知用検知器2, 808の合計掛ける定数との合計により求められる。

スペキュラー信号 =  $(A1+B1+C1+D1) + \quad * (A2+B2+C2+D2)$

【0030】

波(PS)の2つのスプリットビーム間の位相ずれは、検知器2, 808の合計掛ける定数から検知器1, 809の要素の合計を減じることにより求め得る。

PS =  $(A1+B1+C1+D1) - \quad * (A2+B2+C2+D2)$

【0031】

図8、検知器1, 809を参照すると、円周方向の傾斜(SCD)は次の式により与えられる。

SCD =  $[(B1+C1) - (A1+D1)] / (A1+B1+C1+D1)$

半径方向の傾斜(SRD)は次の式により与えられる。

SRD =  $[(A1+B1) - (C1+D1)] / (A1+B1+C1+D1)$

【0032】

円周方向及び半径方向における形状は、円周方向又は半径方向の傾斜の積分により、それぞれ求められる。傾斜信号はまた、1に関して2を減じることに於いて、上記に示すような同じ等式により、検知器2, 808から求め得る。

【0033】

図8, 9, 10と12の設計の使用は、カーボン層の、サブミクロンの引っ掻き傷、粒子、歪み、窪み、マウンド、取り扱い損傷、摩耗、外径の損傷及び汚染の計測を可能にする。この設計はまた、カー回転角度の計測により長手方向のカー効果を計測可能である。この設計の利点は、検知器により可能になるその小さな寸法であり、それ(該検知器)は、位相ずれ、スペキュラー反射率、半径方向及び円周方向の傾斜、及び散乱光の計測を組み合わせる。

【0034】

薄膜ディスク1302の頂部及び底部に設置されても良い小型の光学系設計の一実施の形態は図13に示される。結果生じる組み合わせは、ステッパ又はDCサーボモータ駆動式ステージ1308によりディスク面上において移送される。スピンドルモータ1306は、光学系1301が半径方向で移送される間にディスクを回転して、ディスク面の100%について欠陥を計測しも良い。装置全体はベースプレート1307に設置される。電子パッケージはステッパモータ1303上に設置される。ディスクは真空チャック1305上に設置されており、それは高速で回転される。

【0035】

透明ガラス基部1406及び別の透明な対象の検査における問題は、頂面及び底面から信号を分離することである。これは、底面1405からの信号を遮断して頂面反射1403に影響させない空間フィルタ1404の使用により実現可能である。図14は、光学面分析器(OSA)の光学的設計におけるこれを示す。入射光ビームは1401である。

【0036】

空間フィルタ1404は、一体式球1402の底面に取り付けられた小さな楔(ウェッジ)の形状である。空間フィルタの位置は、底面反射1405を丁度遮断するように調整されており、頂面反射1403との干渉は生じない。本発明は、透明ガラスディスク又はウエファ－1406の頂面及び底面からの情報を分離可能にする。本発明はまた、ニオブ酸リチウム、石英ガラス、フォトレジスト及び別の透明な酸化物等の任意の透明な媒体に適用される。

10

20

30

40

50

## 【 0 0 3 7 】

これとは別の設計は、空間フィルタが一体式球の底部に取り付けられることを必要としない。例えば一体式球は、削除されても良く、空間フィルタは光学系本体の任意の別の地点に取り付けられても良い。空間フィルタは透明基部の十分近くに設置されるべきであるので、頂面及び底面からの反射は横の平面において分離される。この方法において、空間フィルタによる底面反射を遮断し影響されない頂面反射を残すことが可能である。

## 【 0 0 3 8 】

半導体ウエファァーの計測における問題は、CMP（化学機械的研磨）処理により生じる欠陥の検知である。これらの欠陥は、残留銅、窒化物、スラリー、粒子、引っ掻き傷及び歪みであり得る。計測は、半導体ウエファァーがそれらの表面に複雑なパターンを有することにより複雑化される。目的は、半導体ウエファァーの表面上の半導体デバイスの複雑なパターンから欠陥を分離することである。これは図15に示される設計により実現可能である。装置は、入射光ビームのPとS偏光構成要素間の位相ずれを計測するための手段、及び面の形状の計測手段により構成される。装置はレーザー1501と偏光器1502により構成される。レーザーは、焦点調整レンズ1503と、モータ1506により回転されても良いウエファァー又はディスク1505にビームを向ける鏡1504に向けられる。反射されるビームは、別の鏡1507によりコリメートレンズ1508に向けられて、四分の一波長板1509を通過する。四分の一波長板を通過する信号は、入射平面に対して45度を向く偏光ビームスプリッタ1511に向けられる。スプリットビームは2つの光検知器1510と1512により計測される。入射ビームの位相ずれ（シフト）は光検知器1510と1512の振幅における相違に比例する。

10

20

## 【 0 0 3 9 】

スプリットビーム間の位相ずれが計測される場合に、半導体パターンラインの方向は計測された位相ずれに実質的な影響を有することが分かっている。所望されるものは、半導体パターンを除去し更に欠陥の強調である。

## 【 0 0 4 0 】

これを実現するための手段は、図16に示されるような2つの垂直ビームによりウエファァーに像を形成する（image）ことである。図15に示される光学経路（パス）は、図16に示される各ビームを生成する。図16のレーザーの1つ1601及び検知器の1つ1602は、半導体パターンラインの方向に依存する1つの特定の振幅を有する面の位相ずれのイメージを生成する。レーザーの2、1603及び検知器の2、1604は、横の形状は同一であるがレーザーの1、1601と検知器の1、1602により生成されるものに対して振幅が逆の特定の振幅パターンを有する。これは、レーザーの1と2の光ビームの方向がパターンラインの方向に対して垂直であるからである。結果として生成されるものは、半導体パターンラインからの反対の振幅位相ずれ信号を有する半導体の面の2つの位相ずれのイメージである。もしこれらの2つのイメージが共に加算される場合には、半導体パターンは甚だしく弱められる。

30

## 【 0 0 4 1 】

欠陥は他方において、2つの垂直なビームにおいて位相ずれを変えないので、その結果として2つの垂直な像が加えられると欠陥は振幅において増大し、半導体パターンは振幅において減少する。ほとんどの欠陥は本質的に等方性であり、半導体パターンラインに関連する強い異方性を有さない。欠陥は反対の位相ずれ振幅を有さない。この技術は効果的に、欠陥信号を増大し、半導体パターン信号を減少する。焦点を結ぶビーム1607は点1606を横切る。装置全体はハウジング1605内に含まれる。

40

## 【 0 0 4 2 】

本発明は、それが同時に面の形状を計測可能であるという追加の利点を有する。好適な実施の形態において図15に示される入射角度（ $\theta$ ）は約60度である。より大きな又はより小さな入射角度が用途によって使用されても良い。例えば、より大きな入射角度は、透明基部を検査する場合に使用されても良い。透明基部はより大きな入射角度を有する頂面からより大きな信号を発信するので、これは有利である。

50

## 【0043】

図17は、ビームを非直交偏光構成要素に分割するビームスプリッタの使用による楕円状の偏光ビームの位相ずれの計測を示す。入射の楕円状偏光ビームは1701で示されており、このビームは四分の一波長板1702内に向かい、更に次にビームを非直交偏光構成要素に分割するビームスプリッタ1703に向かわされる。Wollastonプリズム1704又は偏光用キューブ(立方)ビームスプリッタ等の偏光ビームスプリッタ、及び半波長板又は光作動式クォーツ(石英)偏光回転子等の偏光回転装置1705は、1703に対して内部にある。ビームスプリッタ1703を出る2つのビームは、1706と1707で指示されるような同じ方向において偏光される。一般的に、ビームスプリッタ1703を出る2つのビームは、もう一方に対して任意の角度で偏光されても良い。これは、半波長板1705(それはビームスプリッタ1703に対して内部にある)を任意の(arbitrary)角度に回転することにより実施されるので、1707を出るビームは、ビーム1706に対して任意の角度で偏光される。ビームがビームスプリッタ1703を出た後で、それらはディヒューザ1708に衝突し、その後光検知器1709と1710により検知される。このタイプのビームスプリッタ1703の利点は、射出したビームが同じ方向で偏光されても良いことである。結果としてビーム1706と1707はディヒューザ1708と光検知器1709と1710に当たる場合に、これらの面からの反射は同一であり、検知される信号は表面反射による同一の減衰を有する。このことにより計測器のキャリブレーションはかなりより容易になる。入射ビーム1701の位相ずれの計算は、光検知器1709と1710により計測された2つのビームの振幅における相違により計算される。

## 【0044】

前の段落で説明された入射レーザービームは、P、S又は45度偏光ビームとして説明されてきた。これらのより簡単な説明は本発明の好適な実施の形態である。表面を偏光されない光により照射し、結果生じる反射信号を同じ光学的で電子的方法により検知することも可能である。結果生じる検知信号は、偏光されない光源を使用しており、やはり位相ずれ、形状、反射率、欠陥及び粒子の計測を可能にする。

## 【0045】

本発明は好適な実施の形態及びいくつかのこれとは別の実施の形態を参照して特に図示され説明されているが、形式及び詳細における種々の変更が本発明の精神及び範囲から逸脱しないでそこに実施可能なことは、関連技術における当業者には理解されるであろう。

## 【図面の簡単な説明】

【図1】図1は、本発明の実施の形態を使用して計測可能な薄膜の図面である。

【図2】図2は、本発明の一実施の形態により計測可能な半導体ウエファアの図面である。

【図3】図3は、本発明の一実施の形態に従う組み合わせ式偏光解析器及び光学式プロファイラの光学的レイアウトの半分の側部立体的図面である。

【図4】図4は、本発明の一実施の形態に従い高さ又は傾斜を計測する光学式粗面計の頂面図である。

【図5】図5は、本発明の別の実施の形態に従い高さ又は傾斜を計測する単一のレーザーを有する光学式粗面計の頂面図である。

【図6】図6は、本発明の一実施の形態に従うレーザーの1つ及びPSD1を示す光学式粗面計の側面図である。

【図7】図7は、本発明の一実施の形態に従う入射角度(ツェータ)の関数としての高さ感度倍率を示す。

【図8】図8は、本発明の一実施の形態に従う小型の光学式面分析器の図面である。

【図9】図9は、本発明の別の実施の形態に従う小型の光学式面分析器の図面である。

【図10】図10は、本発明の別の実施の形態に従う小型の光学式面分析器の頂面立体図である。

【図11】図11は、図10に示す小型の光学式面分析器の「A」で示される方向にお

る図面である。

【図 1 2】図 1 2 は、本発明の別の実施の形態に従う小型の光学式面分析器の頂面立体図である。

【図 1 3】図 1 3 は、本発明の一実施の形態に従う二重式小型の光学式ヘッド及びステッパモータを有する最終テストスピンドルの図面である。

【図 1 4】図 1 4 は、本発明の一実施の形態に従うガラス又は透明基部からの底面反射を遮断するための空間フィルタの図面である。

【図 1 5】図 1 5 は、本発明の一実施の形態に従う組み合わせ式偏光解析器及び光学式プロファイラの光学的レイアウトの半分の側部立体的図面である。

【図 1 6】図 1 6 は、本発明の一実施の形態に従う組み合わせ式偏光解析器及び光学式プロファイラの頂面立体的図面である。 10

【図 1 7】図 1 7 は、本発明の一実施の形態に従う楕円偏光ビームの位相ずれを計測可能な非垂直偏光構成要素にビームを分割するビームスプリッタの図面である。

【符号の説明】

3 0 0 ... 光学装置

3 0 1 ... レーザダイオード

3 0 2 ... リニア偏光器

3 0 3 ... 半波長板

3 0 4 ... 焦点調整レンズ

3 0 5 ... 鏡

3 0 6 ... ガラス基部

3 0 7 ... モータ

3 0 8 ... 鏡

3 0 9 ... コリメートレンズ

3 1 0 ... 四分の一波長板

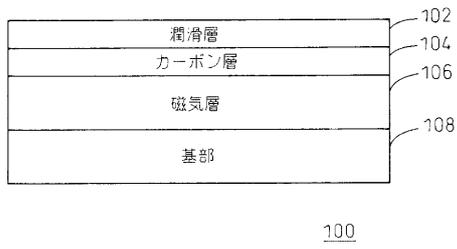
3 1 1 ... 四分儀検知器

3 1 2 ... 偏光ビームスプリッタ

3 1 3 ... 四分儀検知器

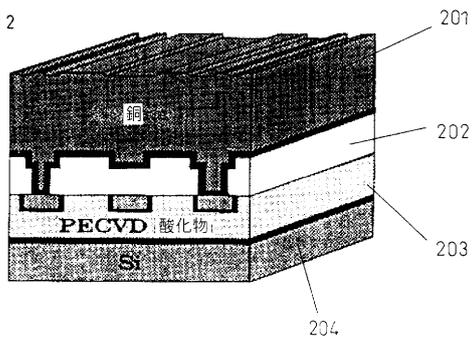
【 図 1 】

図 1



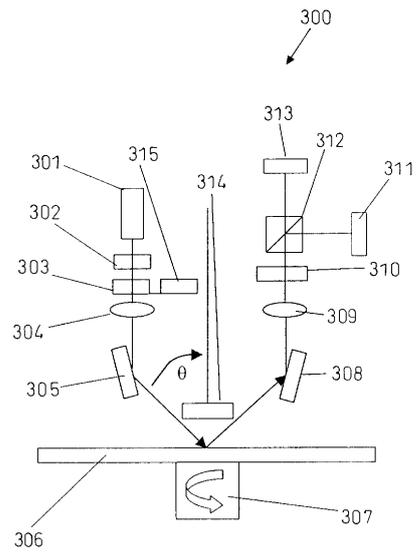
【 図 2 】

図 2



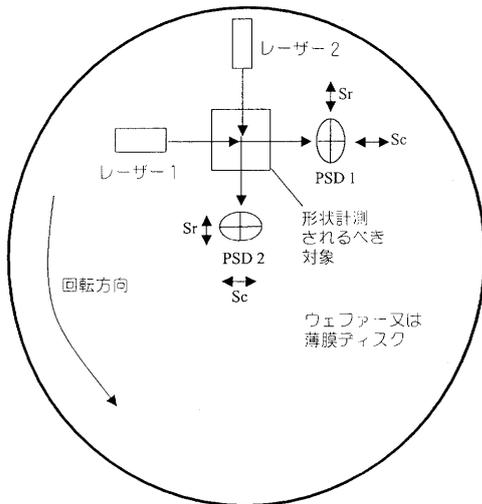
【 図 3 】

図 3



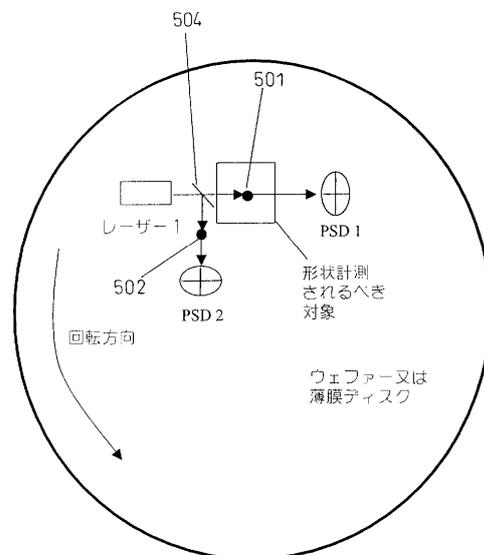
【 図 4 】

図 4

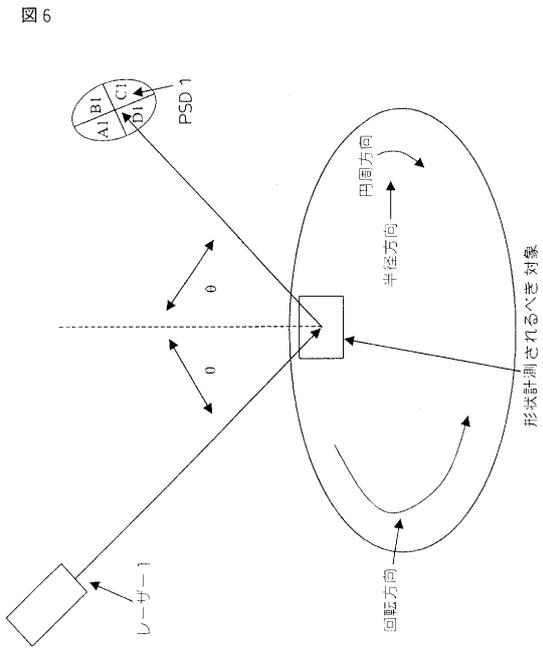


【 図 5 】

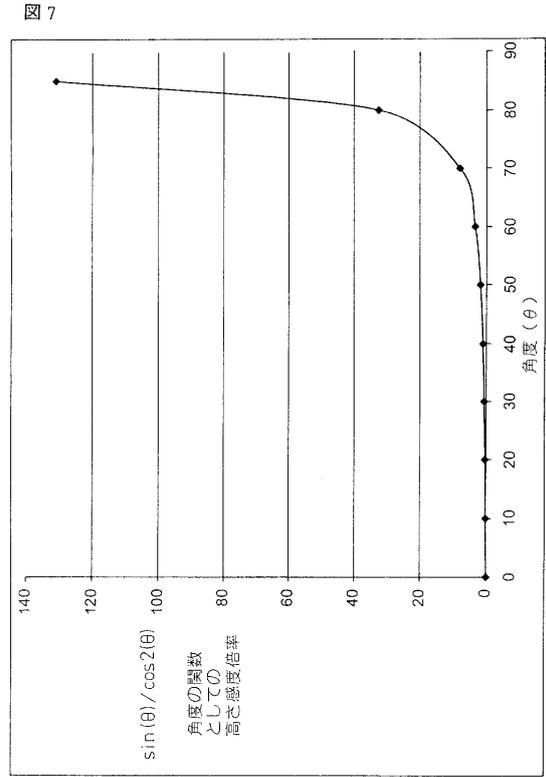
図 5



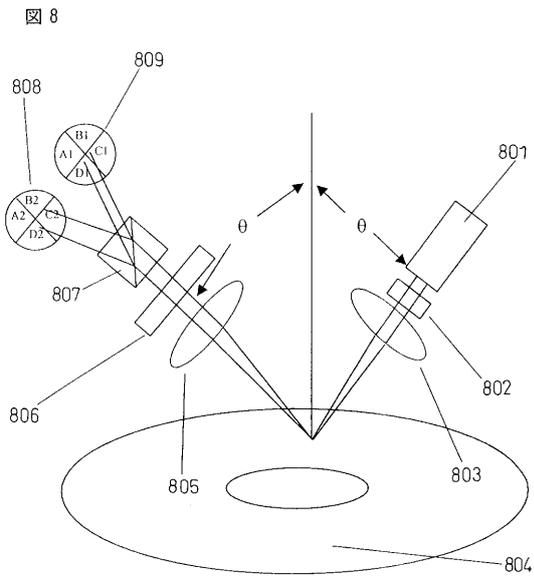
【 図 6 】



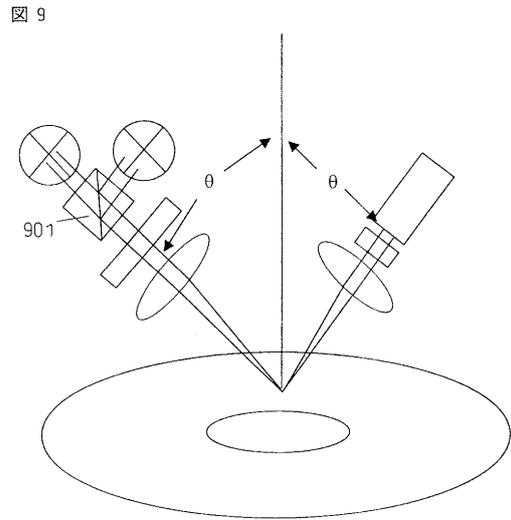
【 図 7 】



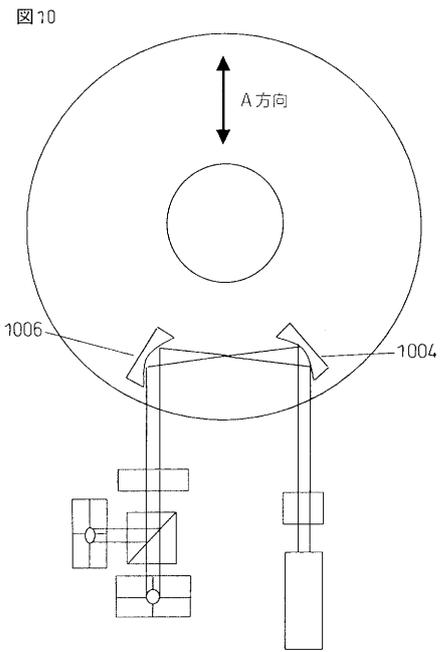
【 図 8 】



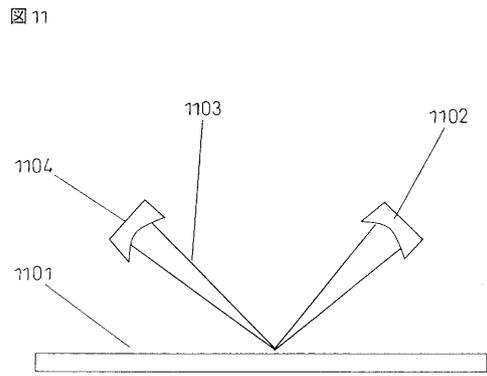
【 図 9 】



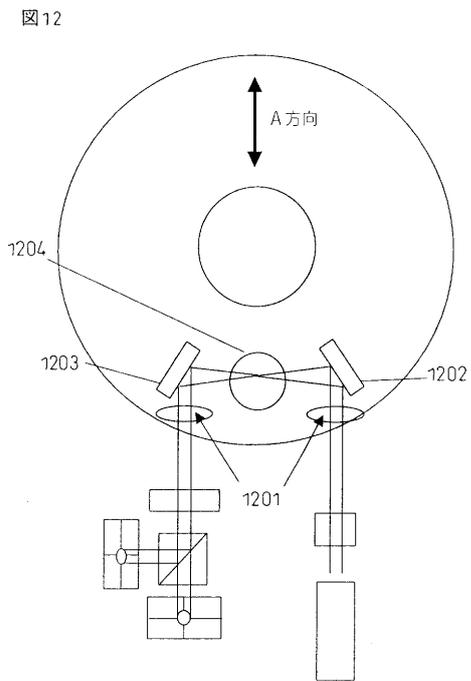
【 図 1 0 】



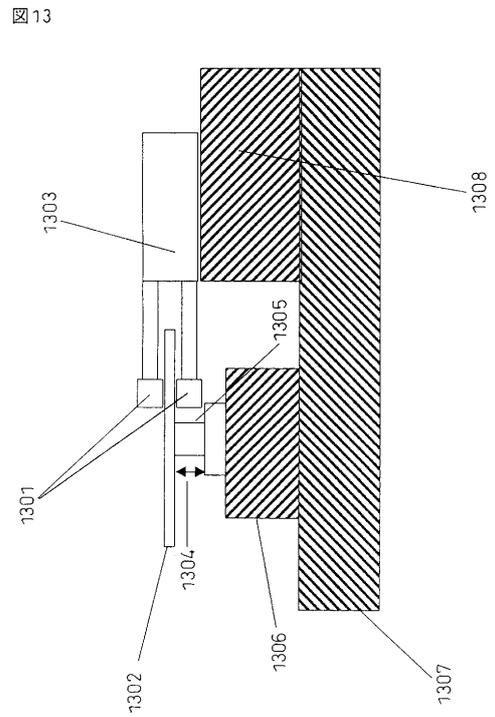
【 图 1 1 】



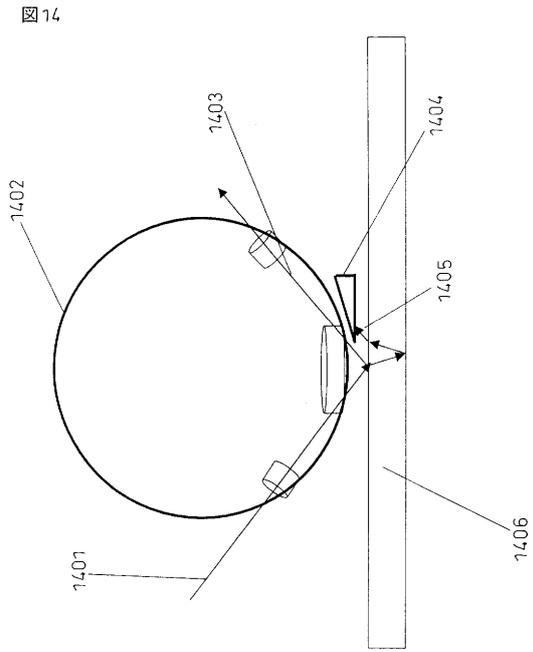
【 图 1 2 】



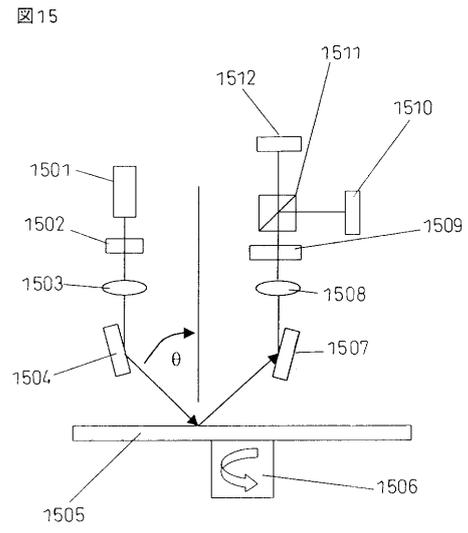
【 图 1 3 】



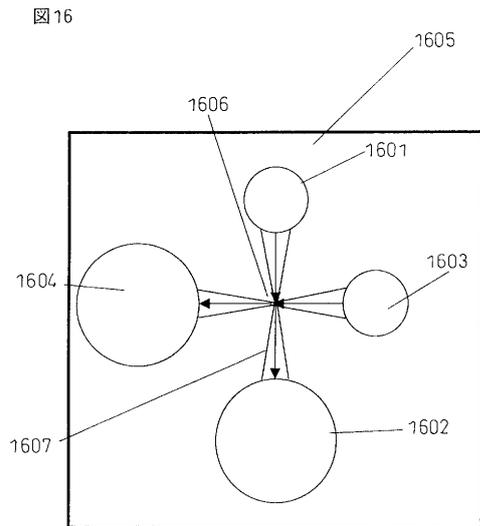
【 図 1 4 】



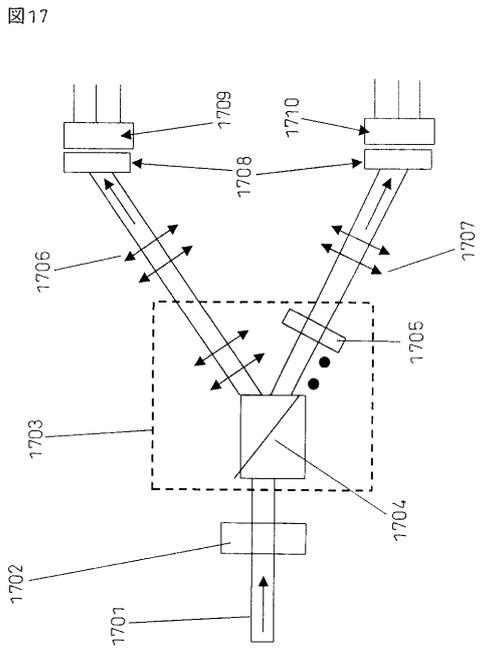
【 図 1 5 】



【 図 1 6 】



【 図 1 7 】



## フロントページの続き

(51)Int.Cl. F I  
G 1 1 B 5/84 C

(74)代理人 100082898

弁理士 西山 雅也

(72)発明者 ステューブン ダブリュ・ミークス

アメリカ合衆国,カリフォルニア 9 4 5 3 9 ,フレモント,ベルモント テラス 3 1 3 0

(72)発明者 ラスミン カディナー

アメリカ合衆国,カリフォルニア 9 4 5 3 9 ,フレモント,アパロン ハイツ テラス 4 7 5  
9 7

審査官 田邊 英治

(56)参考文献 特開平05 - 182896 (JP, A)

特開平04 - 127004 (JP, A)

特開平04 - 364451 (JP, A)

特開平04 - 031748 (JP, A)

特許第3895596 (JP, B2)

特開平11 - 173994 (JP, A)

(58)調査した分野(Int.Cl. , DB名)

G01N 21/84-21/958

G01B 11/00-11/30

G01N 21/17-21/61