(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2006-221790
(P2006-221790A)
(43)公開日　平成18年8月24日(2006.8.24)

(51)Int.Cl.		F I		テーマコード（参考）
G11B 5/84	(2006.01)	G11B 5/84	C	5D112

審査請求 未請求　請求項の数 15　ＯＬ　外国語出願　（全 72 頁）

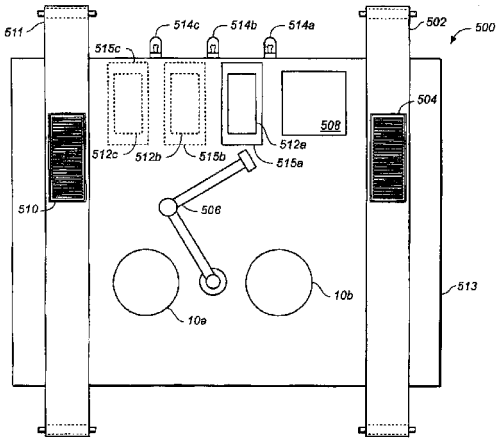
(21)出願番号　特願2006-33041(P2006-33041)
(22)出願日　平成18年1月13日(2006.1.13)
(31)優先権主張番号　60/643748
(32)優先日　平成17年1月13日(2005.1.13)
(33)優先権主張国　米国(US)
(31)優先権主張番号　11/112190
(32)優先日　平成17年4月22日(2005.4.22)
(33)優先権主張国　米国(US)

(71)出願人　591037649
コマッグ・インコーポレイテッド
ＫＯＭＡＧ，ＩＮＣＯＲＰＯＲＡＴＥＤ
アメリカ合衆国カリフォルニア州９５１３１－１８７３・サンノゼ・オートメーションパークウェイ　１７１０
(74)代理人　100082005
弁理士　熊倉　禎男
(74)代理人　100067013
弁理士　大塚　文昭
(74)代理人　100086771
弁理士　西島　孝喜
(74)代理人　100109070
弁理士　須田　洋之

最終頁に続く

(54)【発明の名称】ワークピースを光学的に検査するためのロボットシステム

(57)【要約】
【課題】ワークピース表面から反射される光を使用してワークピースの表面を検査するのに使用される方法及び装置を提供する。
【解決手段】磁気ディスク基板のようなワークピースを検査するための製造セルは、テストされるべきワークピースを供給するための入力コンベヤと、ワークピースを検査するための１つ以上のテスト装置と、テストされたワークピースを受け取るための３つ以上の出力リセプタクルとを備えている。１つ以上のロボットアームがワークピースを入力コンベヤからテスト装置へ移動し、そしてテスト装置により遂行されたテストの結果に基づいてテスト装置から出力リセプタクルの１つへ移動する。出力リセプタクルは、合格リセプタクルと、不合格リセプタクルと、再加工又は更に調査されるべきワークピースに対する少なくとも１つの付加的なリセプタクルとを含む。付加的なリセプタクルがいっぱいのときに、付加的なビンに送られるはずのワークピースは、不合格リセプタクルに入れられる。
【選択図】図１７Ａ



【特許請求の範囲】
【請求項１】
ワークピースを検査するためのセルにおいて、
検査されるべきワークピースの供給源と、
前記ワークピースを検査するための第１テスト装置と、
受け容れられるワークピースを受け取るための第１出力容器と、
更に評価及び／又は再加工されるべきワークピースを受け取るための第２出力容器と、
拒絶されたワークピースを受け取るための第３出力容器と、
入力容器からワークピースを取り出してそのワークピースを前記第１テスト装置に供給するための１つ以上のロボットアームであって、更に、前記第１テスト装置により実行された検査に応答して、前記第１テスト装置から前記ワークピースを取り出して前記第１、第２又は第３出力容器の１つに入れる１つ以上のロボットアームと、
を備え、前記第２容器がいっぱいであるときに、前記セルは、前記第２出力容器に入れられるはずのワークピースを前記第３容器に入れるようにして動作を続ける、
というようにしたセル。
【請求項２】
前記第１及び第２容器は、更なる製造ステップに適した状態でそこに収容されたワークピースを保存するが、前記第３出力容器は、前記ワークピースを前記状態で維持しない、請求項１に記載のセル。
【請求項３】
前記ワークピースはプラッターである、請求項１に記載のセル。
【請求項４】
ワークピースを検査するための第２テスト装置を更に備え、前記１つ以上のロボットアームは、前記第２テスト装置にもワークピースを供給し、そして前記第２テスト装置による前記検査に応答して、前記第２テスト装置から前記第１、第２又は第３出力装置へ前記ワークピースを移動し、更に、前記セルは、ワークピースを更なる評価及び／又は再加工のために受け取る第４出力容器を備えた、請求項１に記載のセル。
【請求項５】
前記セルを包囲するための保安エンクロージャーを更に備え、前記第３の出力容器は、前記セルを遮断せずに前記保安エンクロージャーから取り出して交換できる引き出しである、請求項１に記載のセル。
【請求項６】
前記第１出力容器は、前記検査されるべきワークピースの供給源である、請求項１に記載のセル。
【請求項７】
前記テスト装置は、光学的テスト装置又は磁気テスト装置である、請求項１に記載のセル。
【請求項８】
１つ以上のロボットアームが１組のワークピースをワークピースの供給源から第１テスト装置へ移動するようにさせるステップと、
前記ワークピースを前記第１テスト装置で検査するステップと、
前記１つ以上のロボットアームが、前記検査に応答して、検査されたワークピースを、第１、第２又は第３出力容器のいずれかに入れるようにするステップであって、前記第１出力容器は、受け容れられるワークピースを収容し、前記第２出力容器は、更に評価及び／又は再加工されるべきワークピースを収容し、前記第３出力容器は、拒絶容器であるようなステップと、
前記第２容器がいっぱいであるときには、前記ロボットアームが、前記第２出力容器に入れられるはずのワークピースを前記第３容器に入れるようにさせるステップと、
を備えた方法。
【請求項９】

前記第１及び第２容器は、更なる製造ステップに適した状態でそこに収容されたワークピースを保存するが、前記第３出力容器は、前記ワークピースを前記状態で維持しない、請求項８に記載の方法。
【請求項１０】
前記ワークピースはプラッターである、請求項８に記載の方法。
【請求項１１】
前記１つ以上のロボットアームが入力容器から第２テスト装置へワークピースを移動するようにさせるステップと、
前記第２テスト装置に入れられたワークピースを検査するステップと、
前記１つ以上のロボットアームが、前記第２テスト装置による前記検査に応答して前記ワークピースを前記第２テスト装置から前記第１、第２又は第３出力容器へ移動させるステップであって、前記第４出力容器は、更なる評価及び／又は再加工のためにワークピースを受け取るようなステップと、
を更に備えた請求項８に記載の方法。
【請求項１２】
前記１つ以上のロボットアームの第１は、前記ワークピースを前記テストヘッドに供給し、そして前記１つ以上のロボットアームの第２は、前記テストヘッドを前記第１、第２又は第３出力容器に与える、請求項８に記載の方法。
【請求項１３】
単一のアームがワークピースを前記テストヘッドへ移動し、そして前記ワークピースを前記第１、第２又は第３出力容器の１つに与える、請求項８に記載の方法。
【請求項１４】
前記ワークピースの供給源は、前記第１出力容器である、請求項８に記載の方法。
【請求項１５】
前記１つ以上のロボットアーム、前記第１テスト装置、前記ワークピースの供給源、及び前記第１、第２又は第３容器は、保安エンクロージャー内にあり、そして第２容器は、引き出しであり、前記方法は、更に、前記第２容器を交換するステップであって、
前記引き出しを開いて、前記第２容器を前記保安エンクロージャーから引き出し、
前記引き出しにおいて前記第２容器を交換し、そして
前記引き出しを閉じる、
というステップを備えた請求項８に記載の方法。
【発明の詳細な説明】
【技術分野】
【０００１】
本発明は、製造プロセスの任意のポイントの間に磁気ディスクを形成するのに使用される基板のようなワークピース（出来上がったディスクも含む）を検査するための方法及び装置に係る。
【０００２】
プロビジョナル特許出願へのクロスレファレンス：本出願は、２００５年１月１３日に出願された米国プロビジョナル特許出願第６０／６４３，７４８号に基づく優先権を請求する。
【背景技術】
【０００３】
磁気ディスクは、通常、次の方法を使用して製造される。
１．ディスク状の基板（通常、Ａｌ合金）をラッピング又は研削する。
２．ニッケル燐合金のような材料を基板にメッキする。
３．メッキした基板を研磨し、テクスチャー処理する。（テクスチャー処理中に、通常、機械的な磨きにより基板にテクスチャーグルーブを形成して、その後に堆積される磁気層が非等方性を示すようにする。又、摩擦学的な理由で基板をレーザテクスチャー処理することも知られている。）

４．メッキされた基板上に、１つ以上の下層、１つ以上の磁気層及び１つ以上の保護オーバーコートを堆積する。（堆積プロセスは、スパッタリング又は他の技術を含むことができる。）製造中に基板に他の層を堆積することもできる。
５．ディスクに潤滑剤を塗布する。

【発明の開示】
【発明が解決しようとする課題】
【０００４】
製造中の種々のポイントに（例えば、テクスチャー処理の前又は後に）、基板を段差、ピット、汚染粒子、又は他の欠陥について検査することが望まれる。このような検査中には、非常に小さな欠陥を検出できねばならない。従来技術では、この目的のためにレーザを使用して基板を走査することが知られている。例えば、トレベス氏等に発行された米国特許第６，５６６，６７４号及び第６，５４８，８２１号を参照されたい。（これらトレベス特許は、参考としてここに援用する。）又、テスト装置は、基板を回転するためのスピンドル、レーザビームが通過するレンズのような光学的要素、及び基板により反射されたレーザ光を受け取るための検出器も備えている。
【０００５】
テスト装置は、通常、ロボットアームを含むテストセルに組み込まれ、ロボットアームは、基板をコンベアから取り出してテスト装置に入れ、そして基板をテスト装置から取り出して、コンベアに戻す（例えば、基板があるテスト基準に合格した場合）か、又は多数のビンの１つに入れる。種々のビンに入れるのは、基板表面にどんな形式の欠陥が存在するかに依存する。これらのビンに入れられた基板は、再加工されるか、更に評価されるか又は廃棄される。
【０００６】
セルは、例えば、製造要員がロボットアームに当たって怪我をしないように、保安エンクロージャーを備えている。この従来のセルでは、ビンがいっぱいのときに、テストヘッド全体を遮断し、エンクロージャーを開いて、いっぱいのビンを空のビンと交換することができる。これは、製造時間を浪費する。そこで、このような時間の浪費を減少することが望まれる。
【課題を解決するための手段】
【０００７】
本発明により構成されるテストセルは、磁気ディスク基板のようなワークピースの供給源と、ワークピースを検査するための１つ以上のテスト装置と、テストされたワークピースを受け取るための少なくとも第１、第２及び第３のリセプタクルと、ワークピースをワークピースの供給源からテスト装置へ移動すると共に、ワークピースをテスト装置からリセプタクルの１つへ移動するための少なくとも１つのロボットアームとを備えている。第１のリセプタクルは、通常、「合格」リセプタクルである。第２のリセプタクルは、通常、「不合格」リセプタクルである。第３のリセプタクルは、通常、再加工されるか及び／又は更なるテストを受けるワークピースを受け取る。一実施形態では、第３のリセプタクルがいっぱいになると、第３のリセプタクルへ送られるはずのワークピースが不合格リセプタクルに入れられる。（不合格リセプタクルは、通常、第３のリセプタクルより容量が遥かに大きい。）
【０００８】
再加工又は更に評価されるワークピースは、不合格リセプタクルに入れられるが、この手順により被る浪費は、第３リセプタクルがいっぱいになったときにセルを遮断して保安エンクロージャーを取り外すことが不必要になることで、より以上に補償される。更に、大多数のワークピースがテストヘッドの「合格」基準を満足するので、いかなるロスも最小となる。
【０００９】
一実施形態では、第３のリセプタクルは、保安エンクロージャーを開く必要なくセルから取り出すことのできる引き出しの中にある。これは、セルを遮断せずに第３リセプタク

ルを交換し易くする。

【００１０】

一実施形態では、セルは、３つより多くのリセプタクルを備えている。このような実施形態では、第３のリセプタクルは、第１形式（又は厳格さ）の表面欠陥をもつワークピースに対して使用でき、第４のリセプタクルは、第２形式（又は厳格さ）の表面欠陥をもつワークピースに対して使用でき、等々となる。

【００１１】

別の実施形態では、基板が入力リセプタクルから取り出され、そして合格基準を満足する基板が入力リセプタクルに戻される。入力リセプタクルは、保安エンクロージャーに連続的に出入りし、従って、テストすべき新たな基板を供給したり又は合格基準を満足した基板を取り出したりするためにセルを遮断する必要はない。基板を通すために個別のリセプタクルを使用する実施形態では、合格リセプタクルがコンベア上をセルへ連続的に供給され及びそこから取り出され、従って、セルを遮断する必要はない。

【００１２】

上述したように、本発明による装置は、ワークピースの表面を検査するのに使用される。ここで使用する「検査」という語は、ワークピースの表面を欠陥の存在に対してテストし、表面を評価し、ワークピースの表面に関するデータを収集し、及び／又は１つ以上の基準に基づき表面が適当であるかどうか決定することを含む。「ワークピース」とは、検査されるべき任意の物体である。

【００１３】

上述したように、一実施形態では、本発明による方法及び装置は、磁気ディスクの製造に使用される基板を検査するのに使用される。しかしながら、この方法及び装置は、製造プロセス中の任意の部分に磁気ディスクを検査するのにも使用でき、例えば、ａ）ＮｉＰをメッキする前のアルミニウム基板、ｂ）ＮｉＰをメッキした後であるが、研磨及びテクスチャー処理される前の基板、ｃ）研磨後であるがテクスチャー処理前の基板、ｄ）テクスチャー処理後であるが、下層、磁気層及び保護オーバーコートをスパッタリングする前の基板、ｅ）スパッタリング後であるが、潤滑剤を塗布する前の基板、又はｆ）出来上がった基板、を検査するのにも使用できる。ディスクが洗浄されるポイントも多数ある。洗浄の前又は後に検査を行うこともできる。ここで使用する「プラッター（円板）」という語は、製造中又は製造後の任意のポイントにおけるディスクであって、ガラス、セラミック、ガラス－セラミック、又は他の金属のような非アルミニウム基板を使用して作られるディスク、スパッタリング以外の堆積プロセスを使用して作られるディスク、長手方向又は垂直方向磁気記録を使用するディスク、テクスチャー付きディスク、及び非テクスチャーディスクを含むディスクを包含する。

【００１４】

セルの一実施形態は、ワークピースの表面特性をテストするためのテスト装置を組み込んでいるが、他の実施形態では、セルは、ワークピースの他の特性をテストする。例えば、一実施形態では、ワークピースが磁気ディスクであり、そしてテスト装置がディスクの磁気特性をテストする。

【発明を実施するための最良の形態】

【００１５】

本明細書は、本発明に基づいて構成されたテストセルに関連して使用できる光学的テスト装置（１つ以上のテストヘッドを含む）の説明を含む。セル自体は、以下のセクションXIIで説明する。本発明のセルは、異なる形式のテスト装置、例えば、上述したトレベス特許に開示されたヘッド、又は磁気テスト装置（以下に述べる）と共に使用できることを強調しておく。

【００１６】

Ⅰ．光学的検査装置１０の概要

図１Ａ、１Ｂ、２Ａ及び２Ｂは、本発明による光学的検査装置１０の一実施例を概略的に示し、この装置１０は、ワークピース１３（通常、プラッター）の上面１３ｕを光学的

に検査するためのヘッド１２を備えている。（図１Ａ及び１Ｂは、ヘッド１２の外部を概略的に示す。一実施形態におけるヘッド１２の実際の見掛けは、図３Ａ－３Ｄに示されている。図２Ａ及び２Ｂは、ヘッド１２内の光学路及び要素を示す。）ヘッド１２は、レーザビーム１６を発生するためのレーザソース１４を備えている。又、ヘッド１２は、ａ）レーザビーム１６を変更しそしてビーム１６を表面１３ｕ上のスポットへと指向し収束させるための１組のレンズ、マスク、ミラー及び他の光学的要素（以下に述べる）と、ｂ）表面１３ｕにより反射された光を変更して種々の検出器２０－２６（以下に述べる）へ指向するための１組のミラー、レンズ及び他の光学的要素（これも以下に述べる）とを備えている。（ここで使用する「反射」とは、鏡面反射光及び／又は散乱光を含む。）検出器２０－２６からの出力信号Ｏ２０－Ｏ２６は、表面１３ｕの状態を決定するように処理される。

【００１７】

ヘッド１２は、通常、モノリシック材料ブロックから構成され、そして上述したように、図３Ａ－３Ｄに示す外部の見掛けをもつことができる。

【００１８】

一実施形態では、レーザソース１４が、６６０ｎｍの波長を有するソリッドステートレーザ（例えば、ダイオードレーザ）である。しかしながら、他の実施形態では、異なる形式のレーザソース（ガスレーザのような）及び異なる形式のレーザ光（可視光線範囲以外の光を含む）を使用することができる。表面１３ｕ上のレーザスポットは、円形又は楕円形でもよいし、又は別の形状を有してもよい。一実施形態では、レーザスポットが実質的に楕円形であり、プラッター１３の方位方向に８μｍ、そしてプラッター１３の半径方向に２５－３０μｍでよい。又、レーザは、直線偏光でも、円偏光でも、又はランダム偏光でもよい。

【００１９】

図１Ａ－１Ｂに例示する装置では、レーザ光が、プラッター１３で反射して、偏向検出器２０、狭角度散乱検出器２２、広角度（約９０°）散乱検出器２４、及び後方散乱検出器２６に向けられる。（図１Ａを参照すれば、狭角度検出器２２は、通常、側辺が反射ビームの中心光線とで角度αを形成する円錐内の散乱光を検出し、ここで、αの値は、５から３０°である。）偏向検出器２０は、上述した‘６７４特許又は‘８２１特許に説明された２セル(bi-cell)検出器でよい。或いは、検出器２０は、４(quad)セル検出器でもよいし、又は例えば、１つ又は２つの方向に沿ったレーザビーム偏向を検出するための他の形式の装置でもよい。これら検出器２２、２４及び２６は、ホトダイオードでも、ホトマルチプライヤでも、アバランシェホトダイオードでも、ホトトランジスタ等でもよい。一実施形態では、アドバンスト・ホトニックスにより製造されたデバイスモデル番号１９７－７０－７４－５．９１のようなアバランシェホトダイオードが使用される。検出器２０、２２、２４及び２６からの出力信号は、関連増幅器Ａ２０、Ａ２２、Ａ２４及びＡ２６に供給され、これら増幅器は、次いで、出力信号Ｏ２０、Ｏ２２、Ｏ２４及びＯ２６を処理のために回路Ｃ２０、Ｃ２２、Ｃ２４及びＣ２６に各々供給する。回路Ｃ２０－Ｃ２６は、以下で説明する。

【００２０】

使用中に、スピンドルモータＭがスピンドルＳを回転し、このスピンドルが、次いで、プラッター１３を回転する。同時に、レーザビーム１６がプラッター１３に対して矢印Ａ１の方向に移動し、プラッター表面１３ｕを横切ってスイープする。従って、表面１３ｕの使用可能な全部分がレーザビーム１６で走査され、表面１３ｕを欠陥について検査する。一実施形態では、プラッター１３が回転しながら方向Ａ２に移動し、ヘッド１２が固定のままである。別の実施形態では、ヘッド１２が方向Ａ１に移動し、一方、プラッター１３が単に回転する。更に別の実施形態では、ヘッド１２及びプラッター１３が各々方向Ａ２及びＡ１に同時に移動しながら、プラッター１３が回転する。更に別の実施形態では、レーザビーム１６の角度を変えて、プラッター１３が回転する間にビーム１６が表面１３ｕを横切ってスイープするようにする。しかしながら、重要なことは、レーザビーム１６

とプラッター１３との間に相対的な並進移動があって、表面１３ｕを検査できることである。更に別の実施形態では、レーザが２つの軸に沿った方向にスイープする一方、プラッター１３が固定である。しかしながら、好ましくは、プラッター１３、モーターM及びスピンドルSは、ステッパモーター、リニアモーター又は他の形式のモーター（図示せず）により方向Ａ２に移動される一方、ヘッド１２は固定のままである。

【００２１】

図１は、プラッター１３の上面１３ｕをテストするための上部テストヘッド１２しか示していない。しかしながら、一実施形態では、プラッター１３の下面を同時にテストするために同様の下部ヘッドがプラッター１３の下にも設けられる（例えば、図７に示すように）。このような実施形態では、下部ヘッドは、以下に述べる理由で、上部ヘッドとは若干相違し得る。

【００２２】

II. レーザビーム１６の光学路の詳細な説明

図２Ａ及び２Ｂを参照すれば、レーザビーム１６は、ダイオードレーザ１４を去った後、スリットマスク５０及び５２を通過し、ミラー５４で反射され、そして任意の光学要素５６を通過する。この光学要素５６は、ガラスプレート５６ａと、該プレート５６ａに装着された円偏光板５６ｂ（通常は１／４波長リターダ）と、一方の平面が偏光板５６ｂに装着された円筒状レンズ５６ｃとを備えている。（要素５６は、構造体５６ａ、５６ｂ及び５６ｃが互いに固定されたもので構成されるが、他の実施形態では、それらを互いに固定する必要はない。構造体５６ａ、５６ｂ及び５６ｃは、図２Ｂにおいて別々に概略的に示されている。）

【００２３】

円筒状レンズ５６ｃは、以下に述べるように、プラッター１３上のレーザスポットの形状を制御することができる。偏光板５６ｂは、レーザビーム１６を円偏光する。これは、ヘッド１２が、例えば、以下に述べるように、プラッター１３におけるスクラッチの方向にあまり敏感でないようにする。

【００２４】

光学要素５６を通過した後に、ビーム１６は、ビーム１６をプラッター１３に収束させるレンズ５８と、マスク６０（図２Ａには示さないが、図２Ｂに示されている）とを通過する。次いで、ビーム１６は、プラッター１３に当たる。（ビーム１６の入射角度は、通常、プラッター１３に垂直ではなく、一実施形態では、プラッター１３に対して約４５°でよい。）以下に述べるように、ビーム１６の若干は、プラッター１３で鏡面反射し、そしてビーム１６の若干は、プラッター１３により散乱される（例えば、プラッターの表面に欠陥がある場合）。レーザビーム１６の鏡面反射された部分は、比較的狭い角度でプラッター１３から散乱されたレーザ光の部分と共に、集光レンズ６２を通過する。集光レンズ６２を通過した光は、以下、光１６－１と称される。この光１６－１の一部分は、狭角度ミラー６４（図２Ａには示されていないが、図２Ｂに示されている）に当たる。このミラー６４は小型であるので、光１６－１の外側部分１６－１’は、ミラー６４に当たらずに、ミラー６４の外周を越えて進行し、ミラー６６で反射され、レンズ６８及び虹彩７０を通過し、次いで、検出器２２に当たる。（レンズ６８は、光１６－１’を検出器２２に集中させる。）このように、検出器２２は、比較的狭い角度αでプラッター１３から散乱された光を受け取る。（上述したように、光１６－１の部分１６－１’が散乱される。プラッター１３が完全に滑らかなものであれば、部分１６－１’は、強度がゼロとなる。）

【００２５】

光１６－１の内側部分１６－１”は、ミラー６４で反射されて、４セル検出器２０（以下で詳細に述べる）に当たる。この検出器２０は、部分１６－１”の鏡面反射の角度の僅かな変化を検出し、これは、比較的大きな段差又はピットがプラッター１３に存在するかどうか指示する。（部分１６－１”は、プラッター１３から鏡面反射した光である。）又、４セル検出器２０は、部分１６－１”のパワー量の変化も検出する。このようなパワーの変化は、レーザダイオード１４により供給されるパワーの変動、又は低い反射率を示す

プラッター１３のエリア（例えば、シミ）の存在により生じ得る。

【００２６】

上述した実施形態は、小型ミラー６４を使用するが、別の実施形態では、ミラー６４が非常に大きく、しかし、鏡面反射された光部分１６－１”を透過するための小さな開口を含む。この実施形態では、透過した光（部分１６－１”）が４セル検出器２０へ通され、一方、ミラーは、光部分１６－１’を検出器２２へ反射する。

【００２７】

同時に、レーザ光の部分１６－２が、プラッター１３から散乱し、レンズ７２により収集され、ミラー７４から反射され、そしてレンズ７６を通過し、該レンズは、部分１６－２を検出器２４に集中させる。同時に、レーザ光の部分１６－３がプラッター１３から後方散乱し、レンズ７７により収集され、ミラー７８から反射され、そしてレンズ８０により検出器２６に集中される。

【００２８】

上述したように、部分１６－１’及び１６－２は、プラッター１３の欠陥により各々狭い角度及び広い角度で散乱される光である。部分１６－３は、プラッター１３の欠陥により後方散乱される光である。部分１６－１”は、プラッター１３から鏡面反射される光である。部分１６－１”は、プラッター１３の比較的大きな欠陥の壁の角度を指示する。部分１６－１’、１６－１”、１６－２及び１６－３は、プラッター１３の表面内にある異なる種類の欠陥の種々の特性を決定するのに使用される。

【００２９】

要素５０－８０は、ヘッド１２の一部分であり、エンクロージャー８２内にしっかり保持される。一実施形態では、エンクロージャー８２は、アルミニウムのような材料のモノリシックブロックである。（図１及び２Ａは、ほぼ長方形プリズムの形状をもつものとしてモノリシックブロックを概略的に示すが、その外部は、通常、図３に示された通りである。）ヘッド１２は、これを次のような３つの自由度で調整（操作）できるように装置１０に装着される。即ち、ａ）焦点を合わせるためにＺ軸に沿って並進移動する。ｂ）Ｘ軸の周りで傾斜させる。ｃ）Ｙ軸の周りで傾斜させる。従って、ヘッド１２は、ヘッド内の光学コンポーネントの位置及び角度を個々に調整する必要なく容易に操作することができる。ヘッド１２を装置１０に結合するのに、少数の調整を使用するだけでよい。

【００３０】

ヘッド１２は、３つの自由度だけで調整できるが、別の実施形態では、他の調整も可能である。更に別の実施形態では、Ｚ軸のみに沿ってヘッド１２を調整することができる。更に別の実施形態では、検出器２０及び／又はレーザソース１４の位置は、例えば、ヘッド１２へと延びるスクリュー（図示せず）を使用して微調整を行うことで調整できる。

【００３１】

III．円筒状レンズ５６ｃ

上述したように、一実施形態では、円筒状レンズ５６ｃがレーザビーム１６の入力光学路に設けられる。レンズ５６ｃは、プラッター１３における光スポットの形状の制御を容易にする。通常、レーザダイオードにより発生されるレーザビームは、アスペクト比が約３：１である。以下に述べるように、レーザビーム１６は、通常、ある角度（例えば、約４５°）でプラッター１３に当たり、従って、レーザビーム１６が何ら変更されない場合には、プラッター１３におけるレーザスポット１３は、そのアスペクト比が約２．１：１となる。レンズ５６ｃは、ビーム１６のアスペクト比を高める。一実施形態では、プラッター１３におけるレーザスポットのアスペクト比は、２．５：１より大きく、例えば、４：１から５：１である。レーザスポットの長軸は、プラッター１３とレーザビーム１６との間の相対的へ並進移動の方向、即ち方向Ａ１と実質的に平行である。このため、レーザビーム１６が表面１３ｕを走査するのに要する時間は、アスペクト比が４：１未満である場合より短くなる。（アスペクト比は、５：１以下に保持されるのが好ましい。というのは、アスペクト比が大き過ぎると、レーザビームのエネルギー密度が、表面１３ｕを充分に検査するのに不充分になるからである。）

【００３２】
一実施形態では、円筒状レンズ５６ｃは、２つの仕方で機能する。第１に、レンズ５６ｃは、ビームが集束レンズ５８に当たるときに半径方向におけるビームの長さを減少し、これにより、プラッター１３に当たるときに半径方向におけるビームの長さを増加させる。第２に、レンズ５６ｃは、プラッター１３上のレーザスポットを半径方向に焦点ずれさせる。（レーザスポットは、通常、周囲方向に焦点が合わされる。）重要なことに、これら２つの作用を組み合せると、半径方向のスポットサイズが、入力光学路に沿った円筒状レンズ５６ｃの位置に実質的に不感とされる。例えば、実験中に、ビームスポットの長軸長さを１ミクロン以上変更せずに、レンズ５６ｃを入力光学路に沿って６０ｍｍ移動することができる。

【００３３】
Ⅳ．レーザビーム１６の偏光
上述したように、任意であるが、レーザビーム１６は、例えば、これをプレート５６ｂに通すことにより円偏光される。ビーム１６が円偏光された場合、種々の検出器からの出力信号は、表面１３ｕにおけるスクラッチがレーザ光の電界成分に平行であるか垂直であるかに基づいて変化する。例えば、図４を参照すれば、表面１３ｕの周囲方向に沿って延びるスクラッチＳ１は、表面１３ｕの半径方向に沿って延びるスクラッチＳ２とは異なる作用をヘッド１２に及ぼす。例えば、ａ）レーザビーム１６が直線偏光され、ｂ）入射平面が方位方向にあり、そしてｃ）偏光方向が半径方向である場合には、スクラッチＳ２よりスクラッチＳ１からの方が多くの光が散乱する（スクラッチが同じであると仮定すれば）。偏光方向が入射平面である場合には、スクラッチＳ１よりスクラッチＳ２からの方が多くの光が散乱する。（この技術で知られたように、入射平面とは、入射及び鏡面反射ビームにより定義される平面である。）円偏光ビーム１６により、スクラッチの方向に対するこの敏感さの相違が排除される。

【００３４】
Ⅴ．エンクロージャー８２及びその製造方法
上述したように、ヘッド１２は、ミラー、レンズ及び他の光学要素を備えている。種々の光学要素をヘッド１２内に個々に整列させる必要性を回避してヘッド１２を製造する方法を発見した。又、ヘッド１２を非常にコンパクトな体積で設ける方法も発見した。例えば、巾Ｗ（図１Ａ）が非常に小さくて、例えば、約５．９”であり、長さＬ及び厚みＴが各々６．２”及び３．２３”であるように、ヘッド１２を構成することができた。（これらの寸法は、単なる例示に過ぎない。）これが効果的である理由は、ヘッド１２のサイズが最小にされた場合に、ヘッド１２の製造中に種々の装置に僅かな角度変化が生じても、ビーム光学路のずれにほとんど影響しないからである。又、ヘッド１２を小さくするよう確保することで、装置１０の「設置面積」を最小にすることができる。

【００３５】
本発明による方法を説明するために、材料のブロック１００（この場合も、通常、アルミニウムのような金属）を概略的に示す図５Ａを参照する。ブロック１００の交差部分１０２及び１０３は、光がダイオードレーザ１４からミラー５４及びプラッター１３へ通過するための入力経路を形成するようにミリングされる。重要なことに、マスク５０及び５２を保持する表面を形成するために、棚１０２ａ及び１０２ｂが経路１０２に残される。マスク５０及び５２は、部分１０２の開口１０２’を通して落とされ、位置固定される。

【００３６】
図５Ｂに示すように、ブロック１００の角１０４もミリングされて、例えば、接着剤又は他の技術を使用してミラー５４をブロック１００に適切な角度で装着できるようにされる。

【００３７】
部分１０５、１０６、１０８及び１１０（図３Ｃ、３Ｄ）も、ブロック１００からミリングされて、検出器２０－２６に向けて光が進むための出力経路を形成する。レンズ６８、７６及び８０を保持するためにブロック１００に棚が残される。任意であるが、虹彩を

使用する実施形態のために、虹彩を保持する棚が経路１０６－１１０にも残される。これらの要素は、ミリングされた部分１０６、１０８、１１０の開口に適当に挿入されて、それらの関連する棚に固定される。

【００３８】

部分１１１、１１２及び１１３（図３Ａ、３Ｂ）も、ブロック１００からミリングされて、反射レーザ光の部分１６－１、１６－２及び１６－３のための経路を形成する。集光レンズ６２、７２及び７７を保持するためにブロック１００に棚が残される。レンズ６２、７２及び７７は、経路１１１、１１２及び１１３の開口に挿入され、それに関連した棚に適切に固定される。更に、ガラス窓６４ｗを保持するために部分１１１に棚１１１ａが残され、そこにペデスタル６４ｐが添付され、そこにミラー６４が装着される（図５Ｃ）。（図５Ｃは、ヘッド１２内にミラー６４を保持する１つの仕方を示すに過ぎない。ミラー６４を保持するのに他の技術も使用できることが明らかである。）

【００３９】

最終的に、ブロック１００から側部又は角部が切削され、例えば、接着剤又は他の技術を使用して、ミラー６６、７４及び７８をブロック１００に適切な角度で装着できるようにされる。

【００４０】

異なる実施形態では、ブロック１００の種々の部分を、上記とは異なる順序で除去できることが明らかであろう。

【００４１】

ＶＩ．ヘッド１２内の漂遊光の減少又は除去

本発明の一実施形態によれば、出力信号Ｏ２０－Ｏ２６にノイズを発生することのある漂遊光の量を最小限にするために多数の技術が使用される。（漂遊光は、多数の原因で生じ得る。例えば、ダイオードレーザは、主レーザビーム１６の周りに「ハロー」をしばしば放出する。又、漂遊光は、ヘッド１２内のレンズ、マスク又は他の要素の望ましからぬ反射からも生じ得る。）一実施形態では、黒いチューブを種々の開口に挿入して光学路の壁に当て、そこに生じる漂遊光を吸収する。チューブの表面は、電気メッキ技術により黒くされる。（一実施形態では、チューブ壁にニッケルが電気メッキされる。一形式の光吸収層が、ニューヨーク州ブロックリンのイプナー・テクノロジー・インクから入手できる。参考としてここに取り上げる２００５年１月１３日に出願された本出願人のプロビジョナル特許出願第６０／６４３，７４８号のＥｘｈｉｂｉｔＡとして提出したｗｗｗ．ｅｐｎｅｒ．ｃｏｍからのページも参照されたい。）黒いチューブは、漂遊光を吸収するための「光トラップ」を構成する。

【００４２】

別の実施形態では、ヘッド１２に黒いチューブを挿入するのではなく、ヘッド１２の内部をアノード処理して、光学路のための曇った黒いマット面を設けることができる。

【００４３】

一実施形態では、多数の反射を防止するためにヘッド１２内の種々のレンズに狭帯域Ｖ型ＡＲ（反射防止）コーティングが付着される。（ここで使用する「Ｖ型ＡＲコーティング」とは、「スーパーＶ型ＡＲコーティング」も含む。）このようなコーティングは、通常、レーザビーム１６の波長に対して仕立てられる。この実施形態によりコーティングされたレンズにより示される反射率は、通常、０．２５％未満である。

【００４４】

スリットを伴う１つ以上のマスクが光学路に挿入されるか、又はレンズに添付されて、ヘッド１２の動作を干渉する漂遊光を減少又は防止する。

【００４５】

最終的に、マスク又は虹彩が、１つ以上の検出器２０－２６の前方に設けられる。（虹彩は、調整可能なサイズの開口をもつことのできるマスクである。）

【００４６】

上述したマスク、コーティング及び虹彩は、漂遊光、例えば、プラッター１３に欠陥が

なくても散乱光の光学路に存在する光、を防止し又は減少する。これらマスク、コーティング及び虹彩は、プラッター１３上の欠陥により生じた光に影響し又は実質的に影響するのを回避するように設計され且つ配置される。

【００４７】

更に、プラッター１３の表面に故意に設けた希望のテクスチャー又はパターン（例えば、個別のトラック記録のために）により生じる光を阻止するために１つ以上の他のマスクを設けることもできる。しかしながら、プラッター１３上のパターンによる回折で生じた上記光を排除又は減少する出力光学路のこれらマスクは、欠陥により生じる光のある程度の部分も阻止し得る。

【００４８】

一実施形態では、全てのレンズに反射防止コーティングが設けられるが、別の実施形態では、あるレンズ、例えば、レンズ５８及び６２のみに反射防止コーティングが設けられる。同様に、ある実施形態では、ある光学路、例えば、入力経路１０２及び１０３と、狭角度の散乱出力経路１１１及び１０６のみに沿って光トラップチューブが配置されるだけである。又、ある実施形態では、検出器２２の前方だけに虹彩が設けられる。

【００４９】

漂遊光を減少する重要性は、次のことから明らかとなろう。一実施形態では、利得が３００のアバランシェホトダイオードが、１００００オームのフィードバック抵抗を伴う低ノイズトランスインピーダンス増幅器に接続され、その後に、利得が３の後増幅器が続く。システムの帯域巾は、１０ＭＨｚである。測定された電子ノイズは、０．４５ｍＶＲＭＳであり、一方、計算値は、０．３ｍＶＲＭＳであった。１１８ｎＷのレーザ光がアバランシェホトダイオードに当たる状態で測定されたショットノイズは、７．４ｍＶＲＭＳであり、一方、計算値は、６．２ｍＶＲＭＳであった。ショットノイズは、光パワーの平方根に比例する。それ故、ショットノイズを電子ノイズのレベルまで減少するためには、漂遊光が１ｎＷ以下の程度でなければならない。典型的なレーザパワーは２０ｍＷであるから、レーザ漂遊光をレーザパワーの０．０００５％に減少するように試みなければならない。

【００５０】

ある実施形態は、光を吸収又は捕獲するためのマスク、虹彩、チューブ、及び／又は反射防止コーティングを含むが、他の実施形態は、これらの特徴を欠いている。

【００５１】

VII. レンズの数を減少した実施形態

図６Ａは、プラッター１３、散乱光１６－２、集光レンズ７２、集中レンズ７６及び検出器２２を概略的に示す。（図示を容易にするために、ミラー７４は図６Ａから除去されている。）レンズ７２と７６との間の光が実質的にコリメートされる場合には、ヘッド１２の動作に影響せずに光学距離Ｄ１を任意に長くすることができる。一実施形態では、両レンズ７２及び７６が使用されるが、別の実施形態では、単一のレンズ７２’が光１６－２を収集すると共に、光１６－２を検出器２２に集中もする（図６Ｂ）。同様に、光１６－３を両レンズ７７及び８０に通さずに、単一のレンズを使用することもできる。同様に、光１６－１’を両レンズ６２及び６８に通さずに、単一のレンズを使用することもできる。

【００５２】

図６Ｂの実施形態では、距離Ｄ１’がレンズ７２’の焦点特徴に依存する。距離Ｄ１’は、任意に選択することができない。又、レンズ７２’がレンズ７２と同一である場合には、プラッター１３とレンズ７２’との間の距離Ｄ２が、レンズ７２とプラッター１３との間の対応距離Ｄ３より大きくなければならない。これは、レンズ７２に比してレンズ７２’の有効開口数のロスを余儀なくする。

【００５３】

VIII. ２つのテストヘッドを備えた実施形態

Ａ．プラッター上のレーザスポットの変位

上述したように、一実施形態では、プラッター１３の上面１３ｕをテストするための単一テストヘッド１２が設けられる。他の実施形態では、テストヘッド１２がプラッター１３の上面をテストする間にプラッター１３の下面をテストするための第２のテストヘッド１２ｄが設けられる（図７）。このような１つの実施形態では、ヘッド１２ｄは、スピンドルＳのためのスペースを設けるように若干変更される。更に、ヘッド１２ｄにおけるレンズ６２ｄの位置が、ヘッド１２におけるレンズ６２の位置に比して若干ずらされる。（ここで使用する文字「ｄ」は、下部ヘッド１２ｄの構造と、上部ヘッド１２の対応する構造との間を区別するために要素の参照番号に追加される。更に、一実施形態では、上部レーザビーム１６は、プラッター１３の上面１３ｕに沿って経路１２２（図８）をトレースする（即ち、プラッター１３の半径方向に）が、下部レーザビーム１６ｄは、このような半径方向経路から距離Ｄ４だけ変位された若干異なる経路１２２ｄをプラッター１３の下面１３ｄに沿ってトレースする。これは、スピンドルＳの存在中で高い開口数（高い集光効率）をもつレンズ６２ｄを使用できるようにするために行われる。（一実施形態において、距離Ｄ４は４．７６３ｍｍであり、レンズ６２ｄの直径及び後方焦点長さは、各々、２５ｍｍ及び２０．２ｍｍであり、そして走査されるべき最小距離は、１５．５ｍｍである。レンズ６２ｄの有効直径は、２２ｍｍである。レンズ６２は、レンズ６２ｄと同一である。これらの値は、単なる例示に過ぎない。）

【００５４】

図９及び１０は、ヘッド１２ｄの一部分を各々平面図（見上げた）及び側面図で示している。（図９及び１０において、反射レーザ光の部分１６－２ｄ及び１６－３ｄに関連した光学的要素、及び上面１３ｕに関する要素は、明瞭化のために除去されている。）図９及び１０において、レーザビーム１６ｄは、プラッター１３の内径付近で表面１３ｄ上のポイント１２４ｄに当たる。（ポイント１２４ｄは、図１０では、隠されており、それ故、見えない。）レンズ６２ｄは、ポイント１２４ｄから角度βで円錐状の光を受け取る。ポイント１２４ｄがプラッター１３の半径Ｒから距離Ｄ４だけ変位されていない場合には、レンズ６２ｄがポイント１２４ｄから更に離れることになるので、角度βが減少されることが明らかであろう。レンズ６２ｄは、スピンドルＳがあるので、ポイント１２４ｄの近くへ移動することができない。図示されたようにポイント１２４ｄを変位させることにより、角度βを減少させる必要がなく、それ故、レンズ６２ｄの開口数を増加することができる。これは、より多くの光エネルギーを検出器２２ｄへ与えるという利益を有する。

【００５５】

図９及び１０を参照して上述した作用は、図１１に示すように等価的に達成される。図１１を参照すれば、トラック１３０は、走査されるべきプラッター１３の最も内側のトラックを表す。（ここで使用する「トラック」という語は、トラックが連続螺旋の一部である実施形態と、トラックが個別である実施形態とを含む。）レーザビーム１６ｄは、入射平面がトラック１３０に正接しないようにプラッター１３上のポイント１２４ｄに当たる。むしろ、ここに示す実施形態では、入射平面が、トラック１３０に対して角度θ（一実施形態では、１７．９０°）を形成する。入射平面及びトラック１３０を上述したように配列することにより、開口数を犠牲にせずにトラック１３０を走査できるようにレンズ６２ｄを構成できる。

【００５６】

入射レーザビーム１６ｄの光の円錐は、反射光１６－１ｄの円錐より非常に狭いことに注意されたい。入射ビーム及び反射ビームのこの特性は、上述した変位技術を使用してレンズ６２ｄに対して高いＮＡを使用できるようにする。

【００５７】

上述したように、一実施形態では、レーザビーム１６、１６ｄがプラッター１３の上面及び下面１３ｕ、１３ｄを同時に走査する。下部レーザビーム１６ｄは、上述したように変位される（又は入射平面を上述したようにトラック１３０と交差させる）ことが重要である。というのは、スピンドルＳ（プラッター１３の下に延びるが、上には一般的に延びない）がレンズ６２ｄの配置と干渉するからである。従って、上部レーザビーム１６の変

位は、不必要である。不必要ではあるが、ある実施形態では、ヘッド１２及び１２ｄを実質的に同一にできるように上部レーザビーム１６が変位される。実際に、図３Ａ－３Ｄは、ヘッド１２から切り取られた半円筒状断面１３２を示している。これは、ヘッド１２及び１２ｄを同一にすべき場合に有用であり、ヘッド１２ｄが表面１３ｄの内側トラックを走査するときにスピンドルＳを受け入れできるような余地を許す。

【００５８】

ビーム１６ｄが変位されるので、検出器２０ｄ－２６ｄからの出力信号を処理するソフトウェアは、以下に述べるように、表面１３ｄの特性の「マップ」を発生するときにこの変位を考慮に入れる。

【００５９】

Ｂ．ビーム１６ｄに対するレーザビーム１６の角度

一実施形態において、ヘッド１２及び１２ｄは、ヘッド１２ｄに対するレーザビーム１６の干渉を回避し又は最小限にすると共に、ヘッド１２に対するレーザビーム１６ｄの干渉を回避し又は最小限にするように構成される。これは、プラッター１３に対するレーザビーム１６及び１６ｄの入射角を選択することにより達成できる。図１２は、ヘッド１２、１２ｄ及びプラッター１３の並置を示す平面図である。又、図１２は、ａ）プラッター１３の移動方向Ａ２、ｂ）プラッター１３の平面における入射レーザビーム１６（ミラー５４を去った後）及び鏡面反射レーザビーム１６”（ミラー６４に当たる前）の方向Ａ３、及びｃ）プラッター１３の平面における入射レーザビーム１６ｄ（ミラー５４ｄを去った後）及び鏡面反射レーザビーム１６”（ミラー６４ｄに当たる前）の方向Ａ４も示している。

【００６０】

明らかなように、方向Ａ３及びＡ４は角度γにあり、ビーム１６”及び１６ｄ”は、異なる方向に進む。（角度γは、通常、０°より大きいが、２０°未満である。）この角度は、ビーム１６がプラッター１３の外縁付近にあるときにプラッター１３の片側から散乱した光がプラッター１３の他側の集光レンズへ進む確率を減少する。好都合にも、これは、ヘッド１２のレーザ光がヘッド１２ｄに影響を及ぼし且つそれとは逆にも影響を及ぼすという「交配伝達」即ち干渉を防止する。

【００６１】

図１２において明らかなように、方向Ａ３及びＡ４は、逆平行であるように若干接近している。従って、図１２の実施形態では、ヘッド１２及び１２ｄは同一でよく、ヘッド１２ｄは、ヘッド１２を「ひっくり返した」ものである。ａ）方向Ａ３及びＡ４が逆平行に近く、ｂ）ビーム１６がミラー６４ｄから一般的に離れるように進み、そしてｃ）ビーム１６ｄがミラー６４から一般的に離れるように進むことも、ヘッド１２と１２ｄとの間の交配干渉を防止するように働く（特に、ビーム１６及び１６ｄがプラッター１３の外径付近のポイントに当たるとき）。しかしながら、別の実施形態では、方向Ａ３及びＡ４を逆平行に近いものとする必要はない。

【００６２】

図１２は、ポイント１２４、１２４ｄが距離Ｄ４（上述した）だけ互いに変位されたことを示している。しかしながら、別の実施形態では、スポット１２４がスポット１２４ｄの真上にある。更に別の実施形態では、スポット１２４及び１２４ｄがＤ４の２倍の距離だけ変位される。（このような実施形態では、ヘッド１２及び１２ｄは同一でよい。）

【００６３】

方向Ａ３及びＡ４は角度γを形成するが、一実施形態では、方向Ａ３及びＡ４が逆平行である。更に別の実施形態では、方向Ａ３及びＡ４が、逆平行ではなく平行に近いが、依然として互いに対して角度γを形成する。

【００６４】

Ⅸ．４重検出器２０及び回路Ｃ２０

一実施形態において、検出器２０は、４つの領域２０－１、２０－２、２０－３及び２０－４を有する半導体デバイスのような４重検出器４０である（図１３）。レーザ光１６

の部分１６－１”のスポット１５０が、上述したように、検出器２０に当たる。レーザビーム１６が表面１３ｕの欠陥に当たると、欠陥壁の傾斜に基づいて、スポット１５０は、検出器２０の中心Ｃから偏向される。スポット１５０が方向Ａ５に偏向される場合には、領域２０－２からの出力信号が、領域２０－１、２０－３及び２０－４からの出力信号より大きくなる。表面１３ｕ上のビーム１６がより急峻な欠陥に遭遇する場合には、スポット１５０が方向Ａ５に更に移動し、領域２０－２からの出力信号は、あまり急峻でない欠陥に遭遇した場合に得られるものより大きくなる。

【００６５】

欠陥によりスポット１５０が方向Ａ６に偏向される場合には、領域２０－１からの出力信号が、領域２０－２ないし２０－４の出力信号を越える。このようにして、検出器２０は、表面１３ｕの欠陥の壁の方向及び急峻さを指示する信号を回路Ｃ２０に与える。

【００６６】

一実施形態において、回路Ｃ２０は、領域２０－１、２０－２、２０－３及び２０－４に当たる光の量を各々Ｉ１、Ｉ２、Ｉ３及びＩ４とすれば、（Ｉ１＋Ｉ２）、（Ｉ３＋Ｉ４）及び（Ｉ１＋Ｉ２）－（Ｉ３＋Ｉ４）に各々比例する信号Ｓ２００、Ｓ２０１及びＳ２０２を発生するアナログ回路２００、２０１及び２０２（図１４）を備えている。信号Ｓ２０２は、例えば、プラッター１３の表面の欠陥によりレーザ光の部分１６－１”が上方又は下方に偏向される程度を指示する。又、回路Ｃ２０は、（Ｉ１＋Ｉ３）、（Ｉ２＋Ｉ４）及び（Ｉ１＋Ｉ３）－（Ｉ２＋Ｉ４）に各々比例する信号Ｓ２０３、Ｓ２０４及びＳ２０５を発生するアナログ回路２０３、２０４及び２０５も備えている。信号Ｓ２０５は、レーザ光の部分１６－１”が左又は右に偏向される程度を指示する。又、回路Ｃ２０は、（Ｉ１＋Ｉ２＋Ｉ３＋Ｉ４）に比例する電圧を有する電気的信号Ｓ２０７を発生するアナログ回路２０７も備えている。信号Ｓ２０７は、検出器２０に当たる光の全量を表す。信号Ｓ２０２及びＳ２０５は、通常、値Ｉ１＋Ｉ２＋Ｉ３＋Ｉ４（Ｓ２０７）で正規化され（例えば、除算され）、従って、装置は、レーザ出力パワーの変動及びプラッター１３の領域の反射率変化に不感となる。正規化は、アナログ技術を使用して行うことができる。しかしながら、信号Ｓ２０２、Ｓ２０５及びＳ２０７をデジタル化することもでき（例えば、アナログーデジタルコンバータを使用して）、そして正規化を、例えば、以下に述べるように、コンピュータを使用してデジタルで行うこともできる。

【００６７】

上述したように、一実施形態では、回路２００－２０７は、アナログ技術を使用して種々の信号を加算及び減算する。しかしながら、他の実施形態では、信号Ｉ１－Ｉ４をデジタル化することができ、そして加算及び減算をデジタルで行うこともできる。上述したように、加算及び減算は、通常、複数の段階で行われる（例えば、第１に加算を、第２に減算を行う）。しかしながら、他の実施形態では、これらの機能を１段階で実行することもできる。

【００６８】

Ｘ．回路Ｃ２２、Ｃ２４及びＣ２６の説明

回路Ｃ２２、Ｃ２４及びＣ２６（検出器２２－２４の出力信号を処理するための）は、同一である。図１５Ａは、回路Ｃ２２を示す。明らかなように、検出器２２からの出力信号Ｏ２２は、アナログ／デジタルコンバータ３００に送られ、該コンバータは、その出力データをＦＩＦＯメモリ３０２に供給する。ＦＩＦＯメモリ３０２の出力は、マイクロプロセッサ３０４により非同期で読み取ることができる。このようにして、マイクロプロセッサ３０４は、検出器２２により送られた出力信号に対応するデータをＦＩＦＯメモリ３０２から読み取る。マイクロプロセッサ３０４は、これらのデータを、高速バスインターフェイス回路３０８及びバス３１０（一実施形態ではＵＳＢバス）を経て、汎用プロセッサ３０６へ供給する。（プロセッサ３０６は、次いで、ＦＩＦＯメモリ３０２からのデータに対して付加的な処理を遂行する。）一実施形態において、マイクロプロセッサ３０４は、シリコン・ラボラトリーズから入手できるモデルＣ８０５１Ｆ１２０のようなデバイスであり、１００ＭＨｚのクロック速度を有している。しかしながら、他のマイクロプロ

セッサも使用できる。又、プロセッサ３０６は、通常、汎用プロセッサであるが、デジタル信号プロセッサ、例えば、１５０ＭＩＰＳで動作できるテキサスインスツルーメンツＴＭＳ３２０Ｆ２８１２でもよい。

【００６９】

インターフェイス回路３０８は、マイクロプロセッサ３０４と同様の回路Ｃ２０、Ｃ２４及びＣ２６のマイクロプロセッサにより駆動される１組のバス３１２を経てデータを受け取る。

【００７０】

一実施形態では、信号Ｏ２２のデジタル値は、信号Ｏ２２がスレッシュホールド信号ＴＨＲを越えるときだけＦＩＦＯメモリ３０２に記憶されるのが好都合である。これが好都合である理由は、プラッター１３の特性を評価するために重要なデータだけを記憶することによりＦＩＦＯメモリ３０２を効率的に使用できるからである。従って、これらのデジタル値を選択するだけで、回路Ｃ２２及びプロセッサ３０６のメモリ及びプロセッサ要件が緩和される。これを遂行する仕方は、次の通りである。図１５Ａに見られるように、ＦＩＦＯメモリ３０２の書き込みデータイネーブル信号ＤＥＮがアナログ回路３１６により与えられる。信号ＤＥＮは、検出器２２からの信号Ｏ２２がスレッシュホールド信号ＴＨＲを越えるときだけアクティブとなる。従って、信号Ｏ２２が信号ＴＨＲを越えるときだけＦＩＦＯメモリ３０２にデータが記憶される。

【００７１】

信号ＴＨＲは、デジタル／アナログコンバータ３１８により発生されるアナログ信号であり、該コンバータは、次いで、マイクロプロセッサ３０４により制御される。従って、マイクロプロセッサ３０４は、信号ＴＨＲの大きさを制御する。信号ＴＨＲは、関心のある事象だけを通過させるようにユーザ選択可能である。（一般に、信号ＴＨＲは、信号ノイズレベルより大きくされる。）任意であるが、一実施形態では、マイクロプロセッサ３０４又はプロセッサ３０６は、信号Ｏ２２に存在する測定されたノイズに応答して信号ＴＨＲの値を確立する。

【００７２】

通常、信号Ｏ２２－Ｏ２６がそれらの関連スレッシュホールド値ＴＨＲを越えるようにさせるプラッター１３上の位置を指示する位置データをプロセッサ３０６に与えることが望まれる。一実施形態では、これは、表面１３ｕの状態で信号Ｏ２２がスレッシュホールド信号ＴＨＲを越える場合に、「トラックアドレス」（半径方向における表面１３ｕ上の位置を識別する）及び「セクターアドレス」（周囲方向における表面１３ｕ上の位置を識別する）をプロセッサ３０６へ供給することにより行われる。一実施形態では、信号Ｏ２２が信号ＴＨＲを越え始めたところの表面１３ｕ上のエリアの開始位置（トラック及びセクターアドレス）を、そして信号Ｏ２２が信号ＴＨＲより下がるところの表面１３ｕ上の終了位置を指示する回路が設けられる。

【００７３】

図１５Ｂは、開始及び停止アドレスを与えるアドレス回路４００を示す。この回路４００は、スピンドルインデックス入力リード４０２と、サンプルクロック入力リード４０４とを含む。スピンドルインデックス入力リードは、プラッター１３が回転を完了するたびにパルスを受信する。これらのパルスは、カウンタ４０６によりカウントされ、該カウンタは、それに応答してトラックアドレスバス４０８にトラックアドレスを与える。トラックアドレスは、レーザビーム１６により現在走査されるトラックの番号である。

【００７４】

第２のカウンタ４１０は、サンプルクロック入力リード４０４から入力パルスを受け取る。一実施形態では、これらのパルスは、プラッターの回転当たり２４９８５６個のパルスというレートで与えられるが、この数は、例示に過ぎない。サンプルクロックパルスは、ディスクの回転と同期される。一実施形態では、これは、スピンドルＳに結合されたボックス４１２として概略的に表わされた光学的スピンドルエンコーダを設けることにより達成される。このエンコーダは、プラッターの回転当たり５１２個のパルスを与える。ク

ロック回路４１４は、これらパルスを受け取るように結合され、そしてそれに応答して、位相固定ループを使用して、サンプルクロックパルスを発生し、同相の多数のスピンドルエンコーダパルスを生成する。カウンタ４１０は、サンプルクロックパルスをカウントし、そしてセクターアドレスをバス４１８に発生する。

【００７５】

トラック及びセクターアドレスは、信号ＡＥＮに応答してＦＩＦＯメモリ４２０及び４２２に各々記憶される。（信号ＡＥＮは、信号Ｏ２２が最初にスレッシュホールドＴＨＲを越えたとき、及び信号Ｏ２２がスレッシュホールドＴＨＲより下がったときにも、アクティブになる。従って、信号ＡＥＮは、表面１３ｕ上の欠陥の開始位置及び終了位置を表す。）マイクロプロセッサ３０４は、ＦＩＦＯメモリ４２０及び４２２からバス４２４を経てトラック及びセクターアドレスを非同期で読み取る。これらのアドレスは、次いで、マイクロプロセッサ３０４によりインターフェイス回路３０８及び３１０を経てプロセッサ３０６へ供給される。

【００７６】

上述したように、個別のカウンタ４０６及び４１０を使用して、トラック及びセクターアドレスが発生される。しかしながら、別の実施形態では、単一のカウンタを使用して、トラック及びセクターの両アドレスを発生することもできる。（１つのこのような実施形態では、単一のカウンタに記憶される値をＱとし、そして回転当たりのセクター数をＮとすれば、セクターアドレスは、ＱモジュロＮである。トラックアドレスは、Ｑ／Ｎの整数部分である。）この単一カウンタからの出力は、適当な巾のＦＩＦＯメモリに与えることができる。（或いは又、下位のカウンタビットがセクターアドレスを構成し、上位のカウンタビットがトラックアドレスを構成し、且つ下位ビットが値Ｎに到達したときだけ増加し、そして下位ビットは、Ｎに到達するとリセットするといったカウンタを構成することもできる。）

【００７７】

上述したように、アナログ形態の信号Ｏ２２は、スレッシュホールド信号ＴＨＲと比較される。しかしながら、別の実施形態では、信号Ｏ２２がデジタル化され（さもなければ、デジタル形態で与えられ）、そしてスレッシュホールドＴＨＲもデジタル値の形態である。デジタル化信号Ｏ２２がこのデジタルスレッシュホールドＴＨＲ値と比較され、信号ＡＥＮ及びＤＥＮを発生する。

【００７８】

ある実施形態では、信号ＴＨＲは、マイクロプロセッサ３０４により変更できるが、他の実施形態では、信号ＴＨＲを変更することができない。

【００７９】

上述した実施形態は、信号Ｏ２２が信号ＴＨＲを越えたときに種々のＦＩＦＯメモリに情報を通すが、ある実施形態では、信号Ｏ２２が上位スレッシュホールド値未満であるときだけＦＩＦＯメモリに情報が通される。更に別の実施形態では、信号Ｏ２２が信号ＴＨＲより大きいと同時に上位スレッシュホールド値未満であるときだけ情報がＦＩＦＯメモリに通される。更に別の実施形態では、信号Ｏ２２が信号ＴＨＲ（下位スレッシュホールド）未満であるか又は上位スレッシュホールド値より大きいときだけ情報がＦＩＦＯメモリに通される。

【００８０】

上述したように、回路Ｃ２０（４重検出器２０からの出力信号を処理する）は、出力信号Ｓ２０２及びＳ２０５（レーザビーム１６の部分１６－１”の垂直及び水平偏向に対応する）と、信号Ｓ２０７（部分１６－１”内の全パワー量に対応する）とを与える。信号Ｓ２０２及びＳ２０５は、増幅器を経て、回路Ｃ２２の２つの繰り返し（１つは信号Ｓ２０２用、及び１つは信号Ｓ２０５用）と実質的に同一である回路に与えられ、そこで、関連スレッシュホールド電圧を越える場合には、デジタル化されてマイクロプロセッサ３０４及びプロセッサ３０６へ通される。

【００８１】

信号Ｓ２０７は、信号Ｓ２０２又はＳ２０５がデジタル値に変換されてＦＩＦＯメモリに記憶され、これがマイクロプロセッサ３０４により非同期で読み取られてプロセッサ３０６へ通されるときに、回路Ｃ２０のマイクロプロセッサ３０４及びプロセッサ３０６に通される。このようにして、信号Ｓ２０２及びＳ２０５は、プロセッサ３０６により正規化することができる。

【００８２】

XI. 回路Ｃ２２－Ｃ２４の実施形態の詳細な説明

図１６Ａ及び１６Ｂは、図１５Ａ及び１５Ｂの構造を詳細に示している。図１６Ａ及び１６Ｂにおいて、ＷＲｃｌｋ、Ｗｒｅｎ、ＷＲＰｒｔ、ＲＤｃｌｋ、Ｒｄｅｎ及びＲＤＰｒｔは、書き込みクロック、書き込みイネーブル、書き込みポート、読み取りクロック、読み取りイネーブル、及び読み取りポートを指す。カウンタ入力ＣＩＲは、カウンタ４０６及び４１０をリセットする。入力Ｄｉｎは、カウンタ４０６及び４１０を増加する。信号ＳＣＬＫは、クロック回路４１４から発生される。図１６Ｃは、信号ＤＥＮ及びＡＥＮを発生するのに使用できる書き込みイネーブルシーケンスロジック回路４２６を示す。この回路４２６は、アナログ／デジタルコンバータ３００が、通常、クロック信号ＳＣＬＫの多数のサイクルの限定パイプライン遅延を示すので、有用である。回路４２６は、このパイプライン遅延が与えられると、ＦＩＦＯメモリの適切なロードを促進する。図１６Ｃに示すように、一実施形態では、回路４２６は、信号ＤＥＮ及びＡＥＮを発生する直列接続されたＤ型フリップ－フロップ４２７のネットワークを備え、これら信号は、信号Ｏ２２が、ある時間中に、スレッシュホールド信号ＴＨＲを越えた場合だけアクティブになる。（上述したように、信号ＤＥＮは、ＦＩＦＯメモリ３０２へのデータの書き込みをイネーブルする。信号ＡＥＮは、ＦＩＦＯメモリ４０６及び４１０へのデータの書き込みをイネーブルする。）Ｄ型フリップ－フロップ４２７の各々は、クロック信号ＳＣＬＫの関連パルス数だけ遅延された比較器３１６の出力信号を記憶する。回路４２６は、２つのゲート信号を発生し、その１つは、信号ＤＥＮを発生するためのもので、もう１つは、信号ＡＥＮを発生するためのものである。信号ＤＥＮ及びＡＥＮのタイミングは、比較器３１６の出力信号、及び信号ＳＣＬＫを構成するパルス列から発生される。特に、信号ＤＥＮ及びＡＥＮは、フリップ－フロップ４２７の選択された状態に基づく。（例えば、信号ＤＥＮは、クロック信号ＳＣＬＫの４つのパルスだけ遅延された比較器３１６の出力である。信号ＡＥＮは、信号ＤＥＮの立ち上り縁の１つのパルスと、信号ＤＥＮが降下する直前の１つのパルスとを含む。）図１６Ｃに示された回路は、単なる例示に過ぎない。

【００８３】

XII. ヘッド１２に関連して使用されるロボット

図１７Ａは、製造環境においてプラッターをテストするための「セル」５００を概略的に示す。コンベア５０２は、検査されるべきプラッター１３のカセット５０４を供給する。ロボットアーム５０６は、プラッター１３をテスト装置１０ａ又はテスト装置１０ｂのいずれかに供給する。（両装置１０ａ及び１０ｂは、通常、プラッター１３の両面をテストするための上部及び下部ヘッド１２、１２ｄを備えている。）テスト装置１０ａがプラッター１３をテストした後に、アーム５０６は、プラッター１３を把持し、そしてそれを不合格容器５０８、合格カセット５１０又は更に別の評価カセット５１２ａのいずれかに入れる。（通常、大多数のプラッター、例えば、９０％を越えるプラッターが、合格カセット５１０に入れられねばならない。）不合格容器５０８に蓄積されたプラッターは、必ずしも、プラッターが更に別の製造ステップを受ける場合に必要とされる配慮の度合いで取り扱われない。しかしながら、カセット５１０又は５１２ａのプラッターは、通常、このような配慮で維持される。アーム５０６がプラッター１３を装置１０ａからカセット５１０又は５１２ａ或いは容器５０８の１つに移動した後に、アーム５０６は、別のプラッター１３をカセット５０４から取り出し、そして評価すべく装置１０ａに入れる。

【００８４】

同様に、テスト装置１０ｂがプラッター１３を評価した後、アーム５０６は、そのプラッターを、テスト結果に基づいて、不合格容器５０８或いはカセット５１０又は５１２ａ

の１つに入れる。その後、アーム５０６は、別のプラッターをカセット５０４から取り出し、それを装置１０ｂに入れる。

【００８５】

好都合にも、容器５０８は、非常に大きな容量を有し、頻繁に交換する必要がない。従って、容器５０８を空にするためにセル５００を非常に頻繁に遮断する必要はない。

【００８６】

図１７Ａは、２つのテスト装置１０ａ、１０ｂにサービスするロボットアーム５０６を示しているが、別の実施形態では、セル５００は、１つ以上のテスト装置を備え、アーム５０６が付加的な装置にサービスするようにしてもよい。又、図１７Ａは、更に別の評価のためのカセット５１２ａを示しているが、他の実施形態では、更に別の評価を受けるべきプラッターを受け入れるための多数のカセット（例えば、仮想線で示す任意のカセット５１２ｂ及び５１２ｃ）を設けることもできる。プラッター１３は、テスト装置１０ａ、１０ｂで決定されたそれらの表面の特定の特性に基づいてこれらカセットの異なるものに入れてもよい。又、図１７Ａは、１つの不合格容器５０８を示しているが、他の実施形態では、複数の不合格容器５０８を設けることもできる。又、図１７Ａは、１つのアーム５０６しか示していないが、プラッターを移動するために複数のアームをセル５００に設けることもできる。例えば、１つのアームは、プラッターをテスト装置１０ａに与えることができ、そして別のアームは、プラッターを容器５０８及び／又はカセット５１０及び５１２ａに与えることができる。

【００８７】

製造要員への傷害を防止するために保安エンクロージャー５１３がセル５００を取り巻く。一実施形態では、コンベアメカニズム５０２及び５１１は、新たなカセット５０４及び５１０を、エンクロージャー５１３で保護されたエリアへ連続的に運び込む。

【００８８】

アラーム５１４ａは、カセット５１２ａがいっぱいであることを示している。アラーム５１４ａは、可聴信号を発生することができる。或いは又、アラーム５１４ａは、カセット５１２ａがいっぱいであることを指示するために点灯するライトでもよい。（アラーム５１４ａは、カセット５１２ａがいっぱいであることを決定するセンサにより作動されてもよいし、或いはプラッターをカウントすることによりカセット５１２ａがいっぱいであることを決定するカウンタにより作動されてもよい。アラーム５１４ａは、ＬＥＤ、小さな白熱電球、又は他の光学的表示素子でよい。）しかしながら、アラーム５１４ａの作動と、カセット５１２ａの交換との間の時間中には、ロボットアーム５０６が、カセット５１２ａに入れられるプラッターを容器５０８に入れる。このようにして、カセット５１２ａがいっぱいである間に、セル５００をオフにする必要がない。

【００８９】

重要なことに、カセット５１２ａは、引き出し５１５ａ内にある。カセット５１２ａがいっぱいになると、操作要員が引き出し５１５ａを開いてカセット５１２ａをエンクロージャー５１３で保護されたエリアの外に取り出すことにより、カセット５１２ａを交換することができる。従って、カセット５１２ａを交換するときにエンクロージャー５１３を開く必要はない。これは、カセット５１２ａを交換するのに要する時間を短縮し、特に、カセット５１２ａを交換するときにセル５００の遮断を不必要にするのを促進する。（任意のカセット５１２ｂ及び５１２ｃが引き出し５１５ｂ、５１５ｃに同様に配置され、そして同様にエンクロージャー５１３から取り出される。アラーム５１４ｂ、５１４ｃ（アラーム５１４ａと同様の）は、カセット５１２ｂ、５１２ｃがいっぱいであるときにマシンオペレータにそれを通知するが、カセット５１２ｂ、５１２ｃがいっぱいであるときと、それらが交換されるときとの間のインターバル中に、カセット５１２ｂ、５１２ｃに蓄積されるプラッターは、容器５０８に入れられる。）

【００９０】

典型的に、カセット５１２ａに通常入れられるプラッターの少なくとも幾つかは、再生利用可能である。例えば、それらを再研磨して使用することができる。或いは又、それら

を更に別の欠陥分析に送ることができる。これらのプラッターは有用かもしれないが、それらを不合格容器５０８に入れることは、それほど重大ではなく、カセット５１２ａの交換を待機する間にセル５００を遮断することの方が重大である。というのは、特に、非常に僅かな割合のプラッターしかカセット５１２ａに入れられないからである。

【００９１】

一実施形態では、セル５００は、マイクロプロセッサ又はマイクロコントローラ（図示せず）のような制御回路により制御される。

【００９２】

セル５００は、エンクロージャー５１３内に容器５０８を含むが、別の実施形態では、容器５０８がエンクロージャー５１３の外部にあり、エンクロージャー５１３の内部から容器５０８へシュート（図示せず）が延びている。ロボットアーム５０５は、プラッターをシュートに落とし、それらは容器５０８へ落とされる。これは、容器５０８がいっぱいになったときにその容易で且つ迅速な交換を促進する。

【００９３】

図１７Ｂは、カセット５１６がコンベア５１８に設けられたセル５００’の別の実施形態を示す。カセット５１６は、セル５００’によりテストされるべきプラッターを供給する。プラッターは、テストに合格すると、カセット５１６に戻される。このようにして、１つのカセットが入力及び出力の両カセットとして使用される。コンベア５１８は、エンクロージャー５１３で保護されたエリアへの及びエリアからのカセットの定常流を与える。

【００９４】

セル５００、５００’は、上述したテストヘッドを含むテスト装置１０ａ、１０ｂを備えているが、他の実施形態では、セル５００、５００’は、他の形式のテスト装置、例えば、上述したトレベス特許に開示されたテスト装置を含むこともできる。更に別の実施形態では、テスト装置は、磁気ディスクを異なる特性に対してテストすることができる。例えば、テスト装置は、出来上がった磁気ディスクを磁気特性についてテストすることができる。このような実施形態では、このようなセルに組み込まれるテスト装置は、テストされるディスクを保持するスピンドルを回転するためのモーターと、ディスクからデータを読み取るか又はディスクにデータを書き込むための１つ以上の読み取り－書き込みヘッドを備えている。（ここで使用する「テスト装置」という語は、上述した１つ以上のテストヘッドを含む装置、ワークピースに光ビームを供給するための光源及び反射光を検出するための検出器を含む他の光学的テスト装置、例えば、トレベス特許に説明されたテスト装置、並びに、例えば、ここに述べるようなディスクの磁気特性をテストするテスト装置を包含する。）

【００９５】

以上、本発明を詳細に説明したが、当業者であれば、本発明の精神及び範囲から逸脱せずに変更がなされ得ることが明らかであろう。例えば、本発明によるヘッドは、上述したもの以上の又はそれより少数の光学的要素を含んでもよい。入射光又は反射光の経路に、異なる形式の光学的要素を含ませることができる。異なる数の入射光路を使用することもできる。又、異なる数の反射光路（例えば、１から６）を使用することもできる。

【００９６】

上述したヘッドは、材料のモノリシックブロックで作られたが、他の実施形態では、ヘッドが材料のモノリシックブックで作られない。又、上述した装置は、２つのレーザソース１４、１４ｄを備え、その１つは上部ヘッド１２用、そしてもう１つは下部ヘッド１２ｄ用であったが、別の実施形態では、単一のレーザソースをビームスプリッターと共に使用して、２本のレーザビームを発生することもできる。又、本発明による装置は、異なる形式のワークピースを検査するのにも使用できる。上述した異なる特徴の１つ以上を、上述した他の特徴を伴わずに使用できる。

【００９７】

一実施形態では、集光レンズ６２、７２及び７７は、それらを通過する光をコリメート

することができる。しかしながら、他の実施形態では、これらレンズを通過する光は、完全にコリメートされる必要はない。同様に、レンズ５８、７６及び８０は、光を集中させる。任意であるが、これらのレンズは、検出器２２－２４に光を収束できるが、これは、絶対的に必要ではない。従って、このような全ての変更は、本発明に包含される。

【図面の簡単な説明】

【００９８】

【図１Ａ】ワークピースを検査するための光学的検査ヘッドを含む光学的検査装置を概略的に示す分解斜視図である。

【図１Ｂ】ワークピースを検査するための光学的検査ヘッドを含む光学的検査装置を概略的に示す図である。

【図２Ａ】図１Ａ及び１Ｂの光学的検査ヘッド内の光学的経路及び光学的要素を概略的に示す斜視図である。

【図２Ｂ】図１Ａ及び１Ｂの光学的検査ヘッド内の光学的経路及び光学的要素を概略的に示す平面図である。

【図３Ａ】図１及び２の光学的検査ヘッドを形成するモノリシック材料ブロックの斜視図である。

【図３Ｂ】図１及び２の光学的検査ヘッドを形成するモノリシック材料ブロックの斜視図である。

【図３Ｃ】図１及び２の光学的検査ヘッドを形成するモノリシック材料ブロックの斜視図である。

【図３Ｄ】図１及び２の光学的検査ヘッドを形成するモノリシック材料ブロックの斜視図である。

【図４】２つのスクラッチが表面にあるプラッターを示す図である。

【図５Ａ】本発明による製造プロセスの一部分の間の材料ブロックを示す図である。

【図５Ｂ】本発明による製造プロセスの一部分の間の材料ブロックを示す図である。

【図５Ｃ】光学経路の１つにミラーを装着するための構造を示す図である。

【図６Ａ】光を収集及び集中させるための２つのレンズを含む光学的検出器とプラッターとの間の光学路を概略的に示す図である。

【図６Ｂ】光の収集及び集中の両方を行う１つのレンズを含む光学的検出器とプラッターとの間の光学路を概略的に示す図である。

【図７】本発明の別の実施形態に基づきプラッターの上面及び下面を検査する２つの光学的ヘッドを示す図である。

【図８】プラッターに対する上部及び下部レーザビームによりトレースされる経路を示す図である。

【図９】本発明による下部テストヘッドにおけるレンズの配置を示す図である。

【図１０】本発明による下部テストヘッドにおけるレンズの配置を示す図である。

【図１１】レーザがプラッターに当たる最も内側のトラックにおけるポイントを示す図である。

【図１２】上部及び下部ヘッドとプラッターとの並置を示す平面図である。

【図１３】光学的検査ヘッドの実施形態において鏡面反射レーザ光を検出するための４重検出器を概略的に示す平面図である。

【図１４】図１３の４重検出器からの出力信号を処理するための回路を概略的に示す図である。

【図１５Ａ】光学的検出器の出力信号に対応する選択されたデータを処理装置へ供給する回路を示す回路図である。

【図１５Ｂ】選択された位置情報を処理装置へ供給する回路を示す回路図である。

【図１６Ａ】図１５Ａの回路に使用できる回路要素を詳細に示す回路図である。

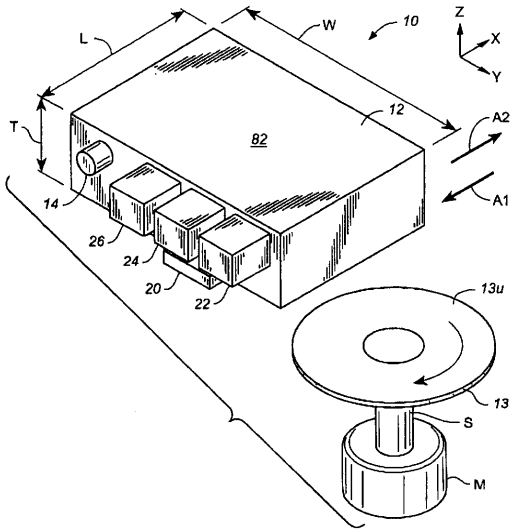
【図１６Ｂ】図１５Ｂの回路に使用できる回路要素を詳細に示す回路図である。

【図１６Ｃ】図１６Ａ及び１６Ｂの回路に関連して使用できる論理回路の図である。

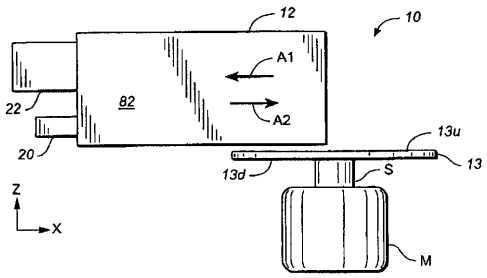
【図１７Ａ】本発明のテストヘッドに関連して使用されるロボットセルの第１実施形態を

示す図である。
【図１７Ｂ】本発明のテストヘッドに関連して使用されるロボットセルの第２実施形態を示す図である。
【符号の説明】
【００９９】
１０：光学的検査装置
１２、１２ｄ：テストヘッド
１３：ワークピース（プラッター）
１３ｕ：ワークピースの上面
１３ｄ：ワークピースの下面
１４：レーザソース
１６、１６ｄ：レーザビーム
２０：偏向検出器
２２：狭角度散乱検出器
２４：広角度散乱検出器
２６：後方散乱検出器
Ｍ：スピンドルモータ
Ｓ：スピンドル
Ａ１、Ａ２、Ａ３、Ａ４：方向
Ｓ１、Ｓ２：スクラッチ
５０、５２：スリットマスク
５４：ミラー
５６：光学要素
５６ａ：ガラスプレート
５６ｂ：円偏光板
５６ｃ：円筒状レンズ
５８：集束レンズ
６２：集光レンズ
８２：エンクロージャー

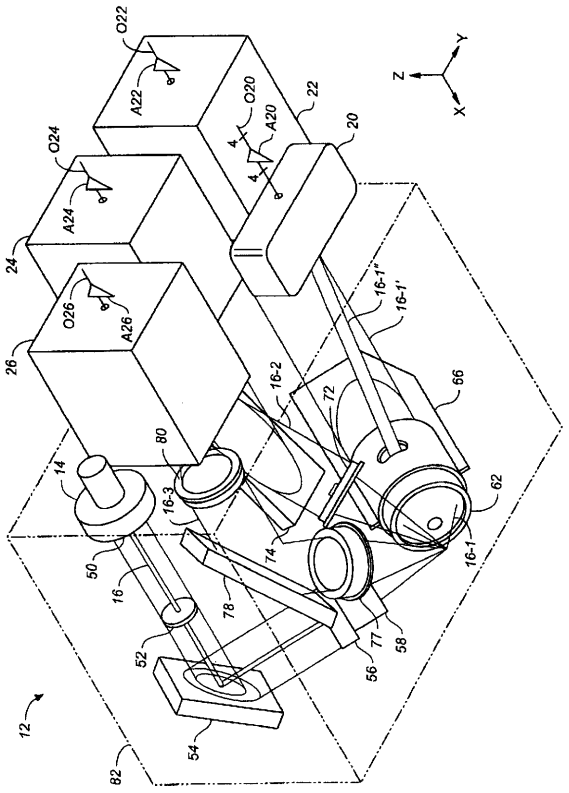
【図１Ａ】



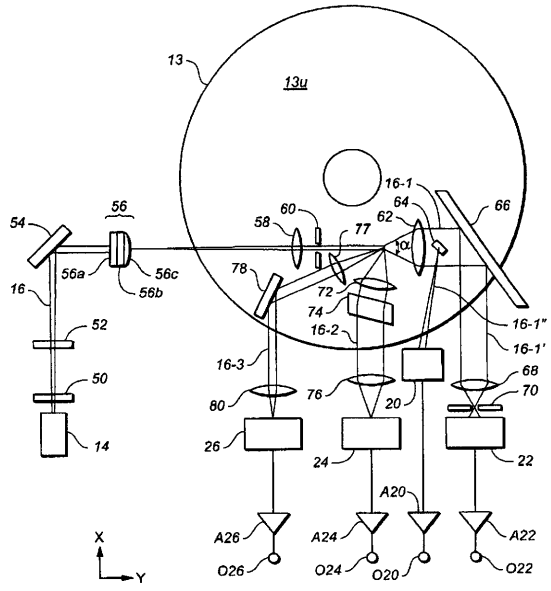
【図１Ｂ】



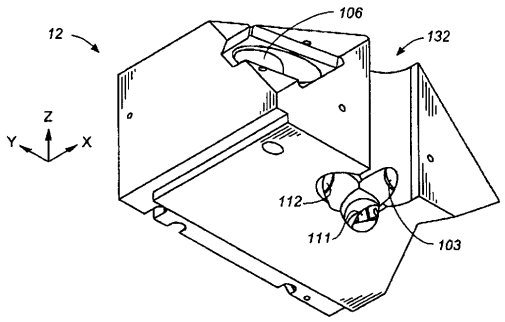
【図２Ａ】



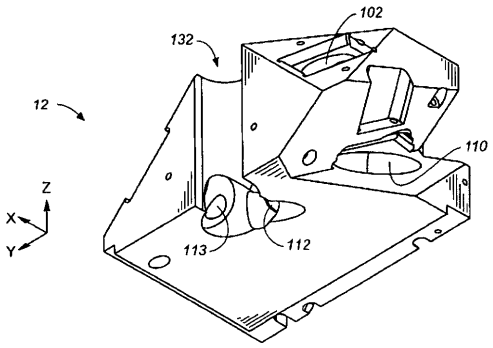
【図２Ｂ】



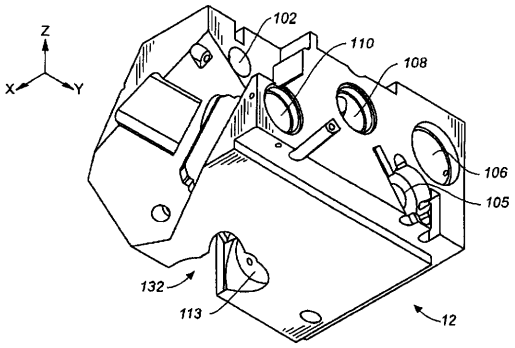
【図３Ａ】



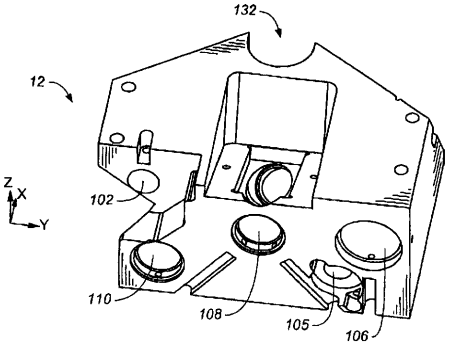
【図３Ｂ】



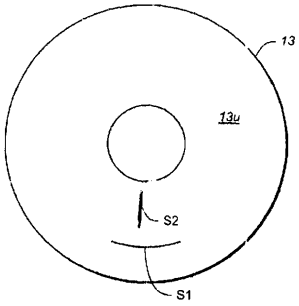
【図３Ｃ】



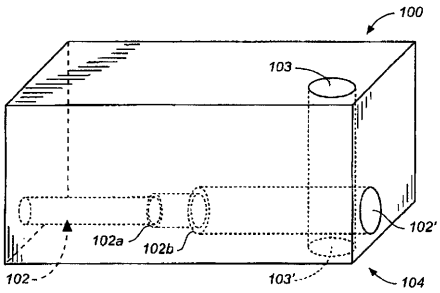
【図３Ｄ】



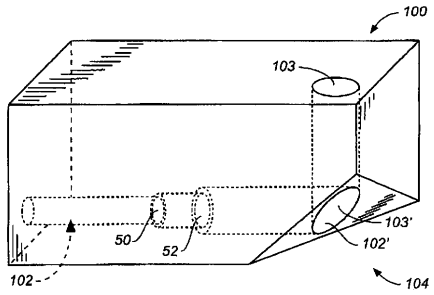
【図４】



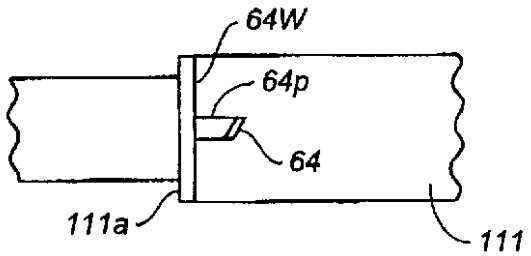
【図５Ａ】



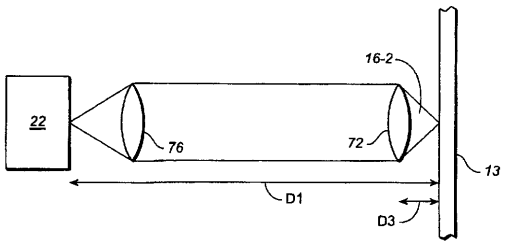
【図５Ｂ】



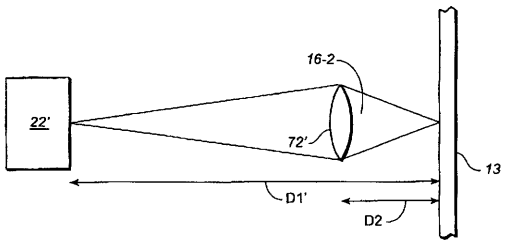
【図５Ｃ】



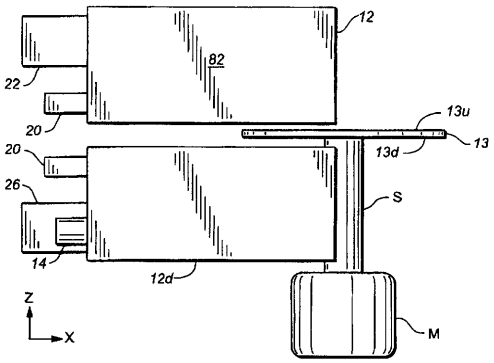
【図６Ａ】



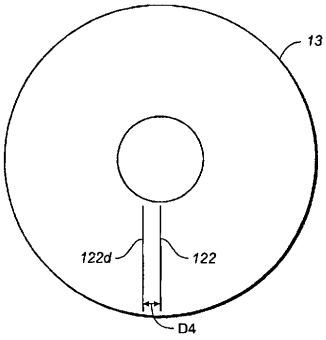
【図６Ｂ】



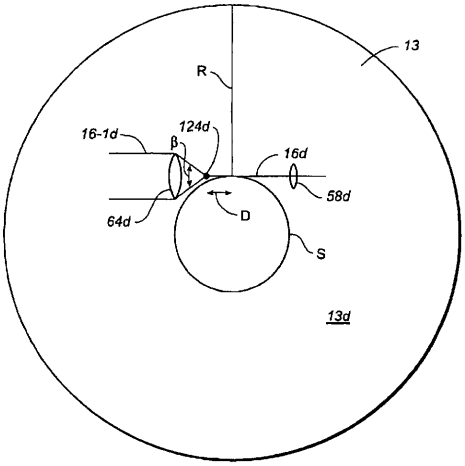
【図７】



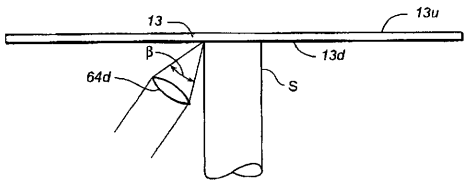
【図８】



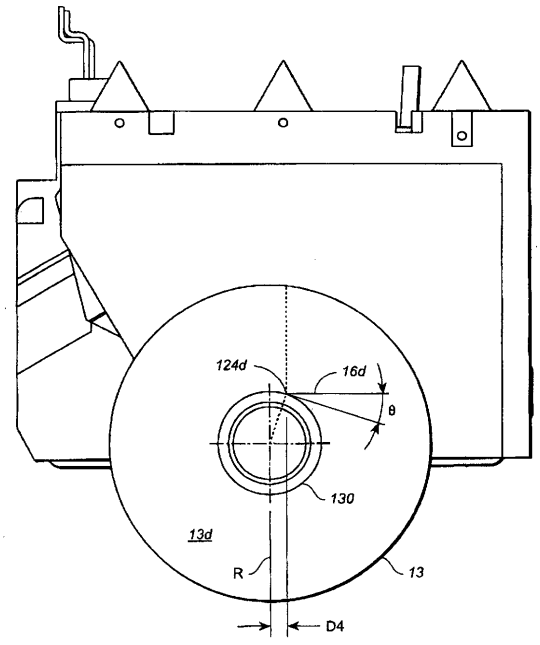
【図９】



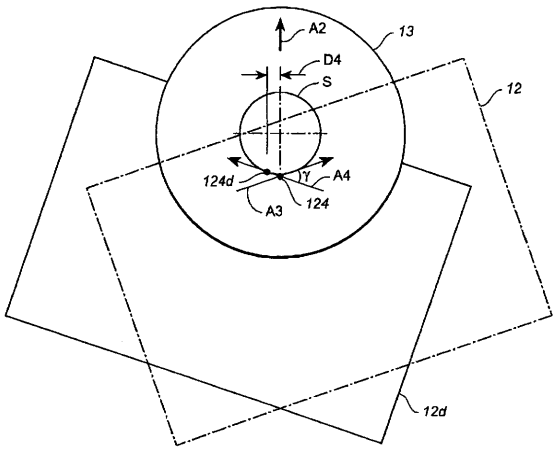
【図１０】



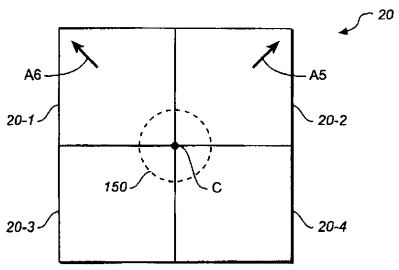
【図１１】



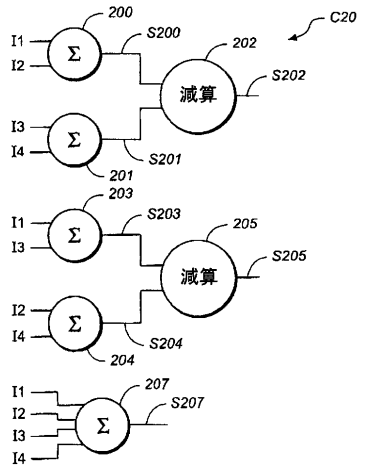
【図１２】



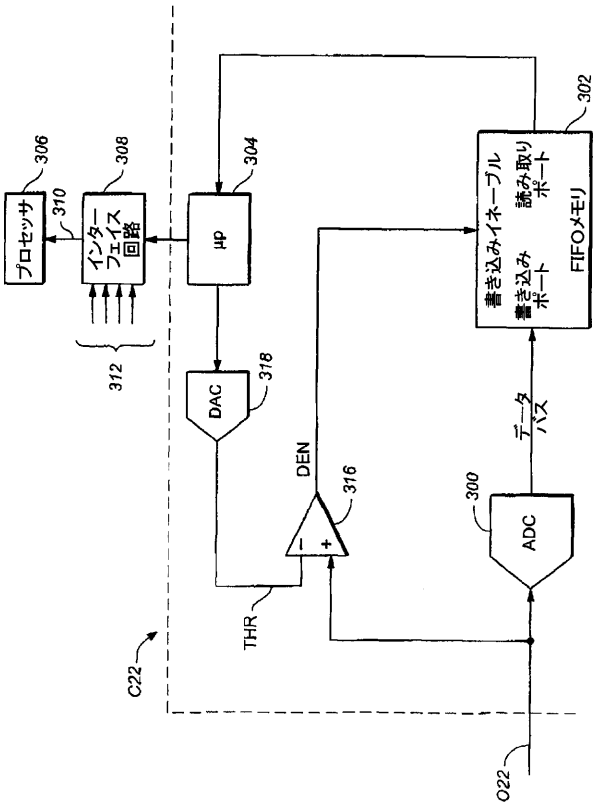
【図１３】



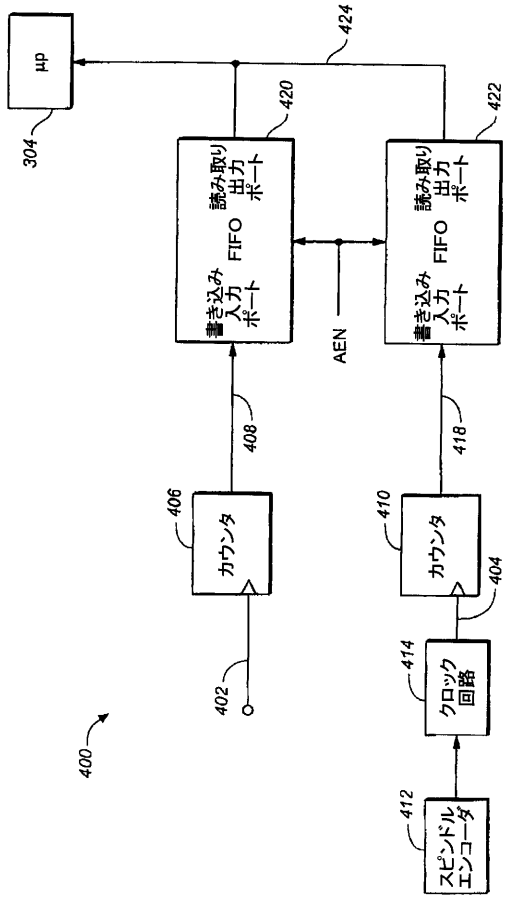
【図１４】



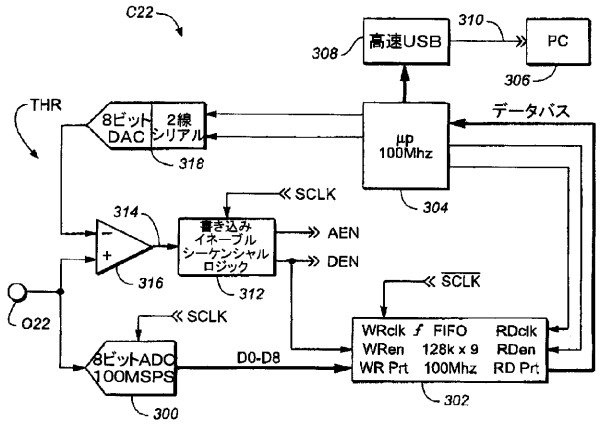
【図１５Ａ】



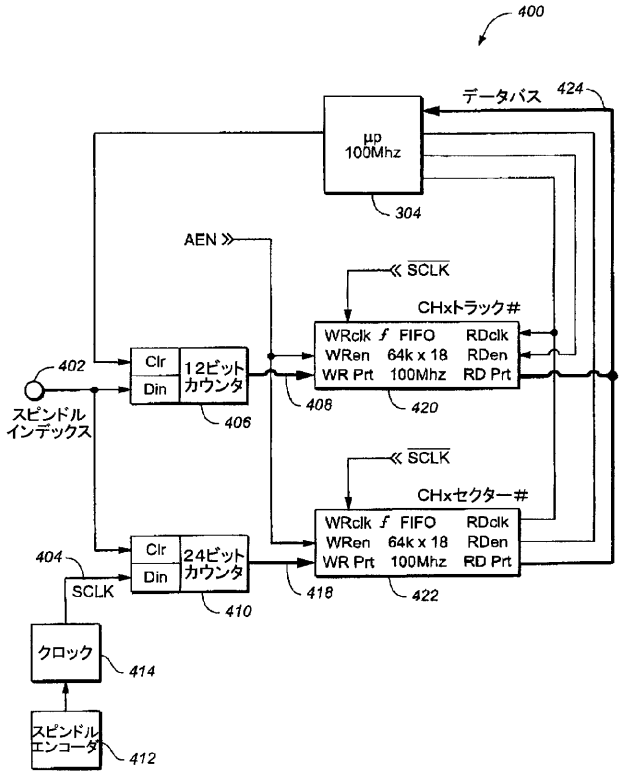
【図１５Ｂ】



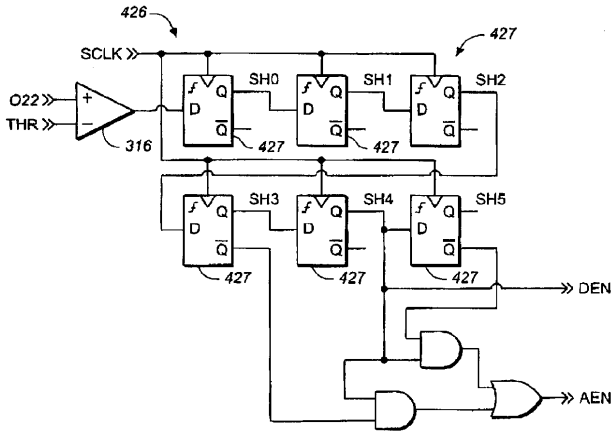
【図１６Ａ】



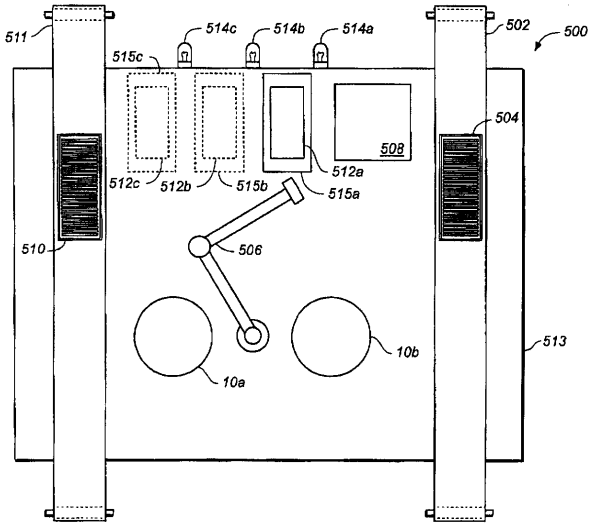
【図１６Ｂ】



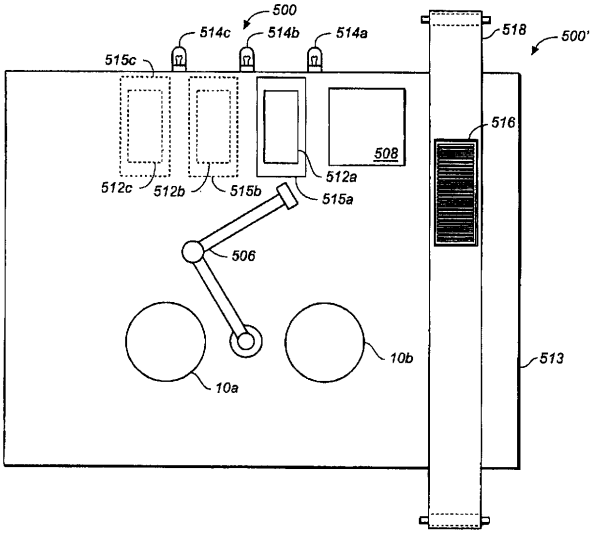
【図１６Ｃ】



【図１７Ａ】



【図１７Ｂ】



フロントページの続き

(72)発明者　ディヴィッド　トリーヴス
アメリカ合衆国　カリフォルニア州　９４３０６　パロ　アルト　ファーン　アベニュー　４７９
(72)発明者　トーマス　オーデル
アメリカ合衆国　カリフォルニア州　９５００８　キャンベル　バッド　アベニュー　１６２

Ｆターム(参考) 5D112 AA24　JJ03　JJ07

【外国語明細書】

ROBOTIC SYSTEM FOR OPTICALLY INSPECTING WORKPIECES

David Treves

Thomas O'Dell

Cross-Reference to Provisional Patent Application

[0001] This application claims priority based on U.S. provisional patent application no. 60/643,748, filed January 13, 2005.

Background of the Invention

[0002] This invention relates to methods and apparatus for inspecting workpieces such as substrates used to make magnetic disks or magnetic disks during any point in the manufacturing process (including the finished disk).

[0003] Magnetic disks are typically manufactured using the following method.

1. A disk-shaped substrate (typically an Al alloy) is lapped or ground.
2. A material such as a nickel phosphorus alloy is plated onto the substrate.
3. The plated substrate is polished and textured. (During texturing, texture grooves are typically formed in the substrate by mechanical abrasion to cause a subsequently deposited magnetic layer to exhibit anisotropy. It is also known to laser texture substrates for tribological reasons.)
4. One or more underlayers, one or more magnetic layers and one or more protective overcoats are deposited onto the plated substrate. (The deposition process can comprise sputtering or other techniques.) Other layers can also be deposited onto the substrate during manufacturing.
5. A lubricant is applied to the disk.

[0004] At various points during manufacturing (e.g. before or after texturing), it is desirable to inspect the substrate for bumps, pits, contaminant particles, or other defects. During such inspection, one should be able to detect very small defects. It is known in the art to use optical testers comprising lasers for scanning such substrates for this purpose. See, for example, U.S. Patents 6,566,674 and 6,548,821, issued to Treves et al. (The Treves patents are incorporated herein by reference.) The testers also include a spindle for rotating the substrates, optical elements such as lenses through which the laser beam passes, and detectors for receiving laser light reflected by the substrates.

[0005] Testers are typically incorporated into test cells including a robotic arm for taking a substrate from a conveyor and placing the substrate in the tester, and for taking the substrate from the tester and placing it either back on the conveyor (e.g. if the substrate passes certain test criteria) or in one of several bins. Placement in the various bins depends upon what type of defect is present on a substrate surface. The substrates placed in these bins are re-worked, further evaluated, or thrown out.

[0006] The cell includes a safety enclosure, e.g. so that manufacturing personnel are not struck and injured by the robotic arm. In this prior art cell, when a bin is full, the entire test head shuts down so that the enclosure can be opened and the full bin can be replaced with an empty bin. This wastes production time. It would be desirable to reduce such a waste of time.

Summary

[0007] A test cell constructed in accordance with our invention comprises a source of workpieces such as magnetic disk substrates, one or more testers for inspecting

the workpieces, at least a first, second and third receptacle for receiving tested workpieces, and at least one robotic arm for moving workpieces from the source of workpieces to the tester and for moving workpieces from the tester to one of the receptacles. The first receptacle is typically a "pass" receptacle. The second receptacle is typically a "reject" receptacle. The third receptacle typically receives workpieces that are either to be re-worked and/or subjected to further testing. In one embodiment, if the third receptacle is full, workpieces that would otherwise be provided to the third receptacle are instead placed in the reject receptacle. (The reject receptacle typically has far greater capacity than the third receptacle.)

[0008] Although workpieces that would otherwise be re-worked or evaluated further are placed in the reject receptacle, the waste incurred by this procedure is more than compensated for by the fact that it is unnecessary to shut the cell down and remove the safety enclosure when the third receptacle is full. Further, since the vast majority of workpieces satisfy the "pass" criteria of the test head, any losses are minimal.

[0009] In one embodiment, the third receptacle is in a drawer which can be removed from the cell without having to open the safety enclosure. This facilitates replacing the third receptacle without shutting down the cell.

[0010] In one embodiment, the cell comprises more than three receptacles. In such an embodiment, the third receptacle can be used for workpieces having a first type (or severity) of surface defect, a fourth receptacle can be used for workpieces having a second type (or severity) of surface defect, and so on.

[0011] In an alternative embodiment, substrates are taken from an input receptacle, and substrates which satisfy the pass criteria are placed back in the input

receptacle. Input receptacles continuously pass in and out of the safety enclosure so that it is unnecessary to shut down the cell to provide new substrates to be tested or to remove substrates that satisfy the pass criteria. In an embodiment that uses a separate receptacle for passing substrates, pass receptacles are continuously provided to and removed from the cell on a conveyor so that it is unnecessary to shut the cell down.

[0012] As mentioned above, apparatus in accordance with the invention is used for inspecting a surface of a workpiece. As used herein, the term "inspect" includes testing a workpiece for the presence of defects; evaluating the surface; collecting data concerning the workpiece; and/or determining whether the surface is suitable based on one or more criteria. The term "workpiece" includes any object to be inspected.

[0013] Also as mentioned above, in one embodiment a method and apparatus in accordance with the invention are used to inspect substrates used for magnetic disk manufacturing. However, the method and apparatus can also be used to inspect a magnetic disk at any portion during the manufacturing process, for example a) an aluminum substrate prior to being plated with NiP; b) the substrate after plating with NiP but before being polished and textured; c) the substrate after polishing but before texturing; d) the substrate after texturing but before sputtering of the underlayer, magnetic layer and protective overcoat, e) the disk after sputtering but before application of a lubricant; or f) the finished disk. There are several points during which the disk is washed. Inspection can occur before or after washing. As used herein, the term "platter" encompasses a disk at any point during or after manufacturing including disks made using non-aluminum substrates such as glass, ceramic, glass-ceramic or other metals,

disks made using deposition processes other than sputtering, disks using longitudinal or vertical magnetic recording, textured disks and untextured disks.

[0014] While one embodiment of the cell incorporates a tester for testing the surface characteristics of workpieces, in other embodiments, the cell tests other characteristics of workpieces. For example, in one embodiment, the workpieces are magnetic disks and the testers test the magnetic characteristics of the disks.

Brief Description of the Drawings

[0015] Figs. 1A and 1B schematically illustrate optical inspection apparatus including an optical inspection head for inspecting a workpiece. Fig. 1A is an exploded perspective drawing.

[0016] Figs. 2A and 2B schematically illustrate the optical paths and optical elements within the optical inspection head of Figs. 1A and 1B. Fig. 2A shows the optical paths and elements from a perspective view. Fig. 2B shows the optical paths and elements in plan view.

[0017] Figs. 3A to 3D are perspective views of a monolithic block of material forming the optical inspection head of Figs. 1 and 2.

[0018] Fig. 4 illustrates a platter having a surface with two scratches thereon.

[0019] Figs. 5A and 5B illustrate a block of material during a portion of a manufacturing process in accordance with the invention.

[0020] Fig. 5C illustrates a structure for mounting a mirror in one of the optical paths.

[0021] Fig. 6A schematically shows the optical path between a platter and an optical detector comprising two lenses for collecting and concentrating light.

[0022] Fig. 6B schematically shows the optical path between a platter and an optical detector comprising one lens that both collects and concentrates light.

[0023] Fig. 7 illustrates two optical heads inspecting upper and lower platter surfaces in accordance with an alternative embodiment of the invention.

[0024] Fig. 8 illustrates paths traced by upper and lower laser beams on a platter.

[0025] Figs. 9 and 10 illustrate the placement of lenses in a lower test head in accordance with the invention.

[0026] Fig. 11 illustrates the point on an innermost track where a laser strikes a platter.

[0027] Fig. 12 illustrates the juxtaposition of the upper and lower heads and the platter in plan view.

[0028] Fig. 13 schematically illustrates in plan view a quad detector for detecting specularly reflected laser light within an embodiment of the optical inspection head.

[0029] Fig. 14 schematically illustrates a circuit for processing output signals from the quad detector of Fig. 13.

[0030] Fig. 15A schematically illustrates a circuit for providing selected data corresponding to the output signals of optical detectors to a processing device.

[0031] Fig. 15B schematically illustrates a circuit for providing selected location information to the processing device.

[0032] Fig. 16A and 16B schematically shows circuitry details that can be used in the circuits of Figs. 15A and 15B.

[0033] Fig. 16C illustrates a logic circuit that can be used in conjunction with the circuit of Figs. 16A and 16B

[0034] Figs. 17A and 17B illustrate first and second embodiments of robotic cells used in conjunction with the test heads of the present invention.

Detailed Description

[0035] This specification includes a description of an optical tester (comprising one or more test heads) that can be used in conjunction with a test cell constructed in accordance with the invention. The cell itself is discussed in section XII below. It is emphasized that the cell of the present invention can be used with different types of testers, e.g. the heads described in the above-incorporated Treves patents or magnetic testers (described below).

I. Overview of Optical Inspection Apparatus 10

[0036] Figs. 1A, 1B, 2A and 2B schematically illustrate an example of an optical inspection apparatus 10 in accordance with the invention that includes a head 12 for optically inspecting a top surface 13u of a workpiece 13 (typically a platter). (Figs. 1A and1B show the exterior of head 12 in schematic form. The actual appearance of head 12, in one embodiment, is shown in Figs. 3A to 3D. Figs. 2A and 2B show the optical paths and elements within head 12.) Head 12 comprises a laser source 14 for providing a laser beam 16. Head 12 also includes a) a set of lenses, masks, mirrors and other optical elements (described below) for modifying laser beam 16 and directing and focusing beam 16 onto a spot on surface 13u; and b) a set of mirrors, lenses and other optical elements (also described below) for modifying and directing light reflected by surface 13u to

various detectors 20-26 (discussed below). (As used herein, "reflected" includes specularly reflected light and/or scattered light.) Output signals O20-O26 from detectors 20-26 are processed to determine the condition of surface 13u.

[0037] Head 12 is typically constructed from a monolithic block of material, and as mentioned above, it can have an exterior appearance as shown in Figs. 3A to 3D.

[0038] In one embodiment, laser source 14 is a solid state laser (e.g. a diode laser) having a wavelength of 660 nm. However, in other embodiments, different types of laser sources (such as a gas laser) and different types of laser light (including light outside the visible range) can be used. The laser spot on surface 13u can be circular, elliptical, or can have another shape. In one embodiment the laser spot is substantially elliptical, and can be 8μm in the azimuthal direction of platter 13, and 25 to 30 μm in the radial direction of platter 13. The laser can be linearly polarized, circularly polarized or randomly polarized.

[0039] In the exemplary apparatus of Figs. 1A to 1C, the laser light reflects off of platter 13, and is directed to a deflection detector 20, a small angle scatter detector 22, a wide-angle (approximately 90°) scatter detector 24, and a back scatter detector 26. (Referring to Fig. 1A, the small angle detector 22 typically detects scattered light within a cone whose sides form an angle α with the central ray of the reflected beam, where α is a value between 5 and 30°.) Deflection detector 20 can be a bi-cell detector as described in the above-mentioned '674 or '821 patents. Alternatively, detector 20 can be a quad cell detector or other type of device, e.g. for detecting laser beam deflection along one or two directions. Detectors 22, 24 and 26 can be photodiodes, photomultipliers, avalanche photodiodes, phototransistors, etc. In one embodiment, an avalanche photodiode such as device model no. 197-70-74-5.91, manufactured by Advanced Photonix is used. The

output signals from detectors 20, 22, 24 and 26 are provided to associated amplifiers A20, A22, A24 and A26, which in turn provide output signals O20, O22, O24 and O26 to circuits C20, C22, C24 and C26, respectively, for processing. Circuits C20-C26 are described below.

[0040] During use, a spindle motor M rotates a spindle S, which in turn rotates platter 13. Concurrently, laser beam 16 moves in a direction of arrow A1 relative to platter 13 to thereby sweep across platter surface 13u. Accordingly, the entire usable portion of surface 13u is scanned by laser beam 16 to thereby inspect surface 13u for defects. In one embodiment, platter 13 moves in a direction A2 while it rotates, and head 12 remains stationary. In another embodiment, head 12 moves in direction A1 while platter 13 merely rotates. In yet another embodiment, head 12 and platter 13 simultaneously move in directions A2 and A1, respectively, while platter 13 rotates. In yet another embodiment, the angle of laser beam 16 changes so that beam 16 sweeps across surface 13u while platter 13 rotates. Of importance, however, there is relative translational motion between laser beam 16 and platter 13 which permits surface 13u to be inspected. In yet another embodiment, the laser sweeps in directions along two axes while platter 13 is stationary. However, preferably, platter 13, motor M and spindle S are moved in direction A2 by a stepper motor, linear motor, or other type of motor (not shown) while head 12 remains stationary.

[0041] Fig. 1 only shows an upper test head 12 for testing top surface 13u of platter 13. However, in one embodiment, a similar lower head is provided below platter 13 for simultaneously inspecting the bottom surface of platter 13 (e.g. as shown in Fig. 7).

In such an embodiment, the lower head can be slightly different from the upper head for reasons described below.

II. Detailed Description of Optical Paths of Laser Beam 16

[0042] Referring to Figs. 2A and 2B, after laser beam 16 leaves diode laser 14, it passes through slit masks 50 and 52, reflects off a mirror 54, and passes through optional optical elements 56. Optical elements 56 comprise a glass plate 56a, a circular polarizer 56b (typically a quarter wave retarder) mounted on plate 56a, and a cylindrical lens 56c having one planar surface mounted on polarizer 56b. (Although elements 56 comprise structures 56a, 56b and 56c affixed to one another, in other embodiments they need not be affixed to one another. Structures 56a, 56b and 56c are separately shown schematically in Fig. 2B.)

[0043] Cylindrical lens 56c permits control of the shape of the laser spot on platter 13, as described below. Polarizer 56b circularly polarizes laser beam 16. This makes head 12 less sensitive to the direction of scratches in platter 13, e.g. as described below.

[0044] After passing through optional elements 56, beam 16 passes through a lens 58 for focusing beam 16 onto platter 13 and through a mask 60 (not shown in Fig. 2A, but shown in Fig. 2B). Beam 16 then strikes platter 13. (The angle of incidence of beam 16 is typically not perpendicular to platter 13, and in one embodiment it can be about 45° with respect to platter 13.) As described below, some of beam 16 specularly reflects off of platter 13 and some of beam 16 is scattered by platter 13 (e.g. if there are defects on the platter surface). The specularly reflected portion of laser beam 16, along with a

portion of the laser light scattered off of platter 13 at a relatively narrow angle, passes through a collecting lens 62. The light passing through collecting lens 62 is hereafter referred to as light 16-1. A portion of light 16-1 strikes a small angled mirror 64 (not shown in Fig. 2A, but shown in Fig. 2B). Because mirror 64 is small, an outer portion 16-1' of light 16-1 does not strike mirror 64, but instead travels past the outer perimeter of mirror 64, reflects off a mirror 66, passes through a lens 68 and an iris 70 and then strikes detector 22. (Lens 68 concentrates light 16-1' on detector 22.) In this way, detector 22 receives light scattered off of platter 13 at relatively narrow angle α. (As mentioned above, portion 16-1' of light 16-1 is scattered. If platter 13 were perfectly smooth, portion 16-1' would have an intensity of zero.)

[0045] Inner portion 16-1" of light 16-1 reflects off of mirror 64 and strikes quad-cell detector 20 (described in greater detail below). Detector 20 detects small changes in the angle of specular reflection of portion 16-1", which in turn indicate whether relatively large bumps or pits are present on platter 13. (Portion 16-1" is light that specularly reflects off of platter 13.) Quad-cell detector 20 also detects any changes in the amount of power of portion 16-1". Such a change of power could result from fluctuation in the power provided by laser diode 14 or the presence of an area of platter 13 that exhibits reduced reflectivity (e.g. a stain).

[0046] Although the above-described embodiment uses a small mirror 64, in another embodiment, mirror 64 is much larger, but contains a small opening for transmitting specularly reflected light portion 16-1". The transmitted light in this embodiment (portion 16-1") passes to quad-cell detector 20, while the mirror reflects light portion 16-1' to detector 22.

[0047] Concurrently, a portion 16-2 of the laser light scatters off platter 13, is collected by a lens 72, reflects off a mirror 74, and passes through a lens 76 which concentrates portion 16-2 onto detector 24. Concurrently, a portion 16-3 of the laser light back scatters off platter 13, is collected by a lens 77, reflects off a mirror 78 and is concentrated by a lens 80 onto detector 26.

[0048] As mentioned above, portions 16-1' and 16-2 are light scattered at small and wide angles respectively by defects in platter 13. Portion 16-3 is light that is back scattered by defects in platter 13. Portion 16-1" is light that specularly reflects off of platter 13. Portion 16-1" indicates the angle of the walls of relatively large defects in platter 13. The magnitudes of portions 16-1', 16-1", 16-2 and 16-3 are used to determine various characteristics of different kinds of defects in the surface of platter 13.

[0049] Elements 50-80 are part of head 12, and are rigidly held within an enclosure 82. In one embodiment, enclosure 82 is a monolithic block of material such as aluminum. (Although Figs. 1 and 2A schematically show the monolithic block as having the approximate shape of a rectangular prism, the exterior is typically as shown in Fig. 3.) Head 12 is mounted on apparatus 10 such that head 12 can be adjusted (manipulated) with three degrees of freedom as follows: a) translational motion along the Z axis for focusing, b) tilt about the X axis; and c) tilt about the Y axis. Thus, head 12 can be easily manipulated without having to individually adjust the position and angle of the optical components within the head. Only a small number of adjustments is used to couple head 12 to apparatus 10.

[0050] Although head 12 is adjustable with only three degrees of freedom, in another embodiment other adjustments are possible. In yet another alternative

embodiment, head 12 can be adjusted only along the Z axis. In yet another alternative embodiment, the position of detector 20 and/or laser source 14 are adjustable, e.g. by using screws extending into head 12 (not shown) to make fine adjustments.

III. Cylindrical Lens 56c

[0051] As mentioned above, in one embodiment, cylindrical lens 56c is provided in the input optical path of laser beam 16. Lens 56c facilitates control of the shape of the light spot on platter 13. Typically, a laser beam provided by a laser diode can have an aspect ratio of about 3:1. As explained below, laser beam 16 typically strikes platter 13 at an angle (e.g. at about 45°) so that if laser beam 16 were not otherwise modified, the laser spot on platter 13 would have an aspect ratio of about 2.1:1. Lens 56c increases the aspect ratio of beam 16. In one embodiment, the aspect ratio of the laser spot on platter 13 is greater than 2.5:1, e.g. between about 4:1 and 5:1. The major axis of the laser spot is substantially parallel with direction of relative translational motion between platter 13 and laser beam 16, i.e. direction A1. Because of this, it requires less time for laser beam 16 to scan surface 13u than if the aspect ratio were less than 4:1. (The aspect ratio is preferably kept at or below 5:1 because if the aspect ratio were too large, the energy density of the laser beam would be insufficient to adequately inspect surface 13u.)

[0052] In one embodiment, cylindrical lens 56c functions in two ways. First, lens 56c reduces the beam length in the radial direction as it hits focusing lens 58, and thereby causes the beam length in the radial direction to increase as it hits platter 13. Second, lens 56c causes the laser spot on platter 13 to be out of focus in the radial direction. (The laser spot is typically in focus in the circumferential direction.) Of importance, the

combination of these two effects causes the spot size in the radial direction to be substantially insensitive to the position of cylindrical lens 56c along the input optical path. For example, during experiments, one could move lens 56c by 60 mm along the input optical path without altering the major axis length of the beam spot by more than a micron.

IV. Polarization of Laser Beam 16

[0053] As mentioned above, optionally, laser beam 16 is circularly polarized, e.g. by passing beam 16 through plate 56b. If beam 16 is linearly polarized, the output signal from the various detectors will vary depending upon whether a scratch in surface 13u is parallel or perpendicular to the electric field component of the laser light. For example, referring to Fig. 4, a scratch S1 extending along a circumferential direction of surface 13u will have a different effect on head 12 than a scratch S2 extending along the radial direction of surface 13u. For example, if a) laser beam 16 is linearly polarized; b) the plane of incidence is in the azimuthal direction, and c) the polarization direction is in the radial direction, more light will scatter from scratch S1 than S2 (assuming the scratches are the same). If the polarization direction is in the incidence plane, more light will scatter from scratch S2 than scratch S1. (As is known in the art, the plane of incidence is the plane defined by the incident and specularly reflected beams.) By circularly polarizing beam 16, this difference in sensitivity to scratch direction is eliminated.

V. Enclosure 82 and its Method of Manufacture

[0054] As described above, head 12 comprises mirrors, lenses and other optical elements. We have discovered a method for making head 12 in which we avoid having to individually align various optical elements within head 12. We have also discovered a method for providing head 12 in a very compact volume. For example, we have been able to construct head 12 such that width W (Fig. 1A) is extremely small, e.g. about 5.9". Length L and thickness T are 6.2" and 3.23", respectively. (These dimensions are merely exemplary.) This is advantageous because small variations in angles of various devices caused during manufacturing of head 12 have less impact on the offset of optical beam paths if the size of head 12 is minimized. Also, ensuring that head 12 is small permits minimizing the "footprint" of apparatus 10.

[0055] To illustrate a method in accordance with our invention, reference is made to Fig. 5A, which schematically illustrates a block of material 100 (again, typically a metal such as aluminum). Intersecting portions 102 and 103 of block 100 are milled out to form an input path for light to pass from diode laser 14, to mirror 54 and to platter 13. Of importance, ledges 102a and 102b are left in path 102 to provide a surface for holding masks 50 and 52. Masks 50 and 52 are dropped through an opening 102' of portion 102 and glued in place.

[0056] As shown in Fig. 5B, a corner 104 of block 100 is also milled away so that mirror 54 can be mounted at the appropriate angle on block 100, e.g. using an adhesive or other technique.

[0057] Portions 105, 106, 108 and 110 (Figs. 3C, 3D) are also milled out of block 100 to form output paths for light heading toward detectors 20-26. Ledges are left in block 100 for holding lenses 68, 76 and 80. Optionally, ledges are also left in paths 106-

110 to hold irises for embodiments in which such irises are used. These elements are inserted through openings in the milled out portions 106, 108, 110 as appropriate and glued onto their associated ledges.

[0058] Portions 111, 112 and 113 (Figs. 3A and 3B) are also milled out of block 100 to form paths for portions 16-1, 16-2 and 16-3 of the reflected laser light. Ledges are left in block 100 for holding collecting lenses 62, 72 and 77. Lenses 62, 72 and 77 are inserted through the openings of paths 111, 112 and 113 and glued to their associated ledges as appropriate. In addition, a ledge 111a is left in path 111 for holding a glass window 64w, upon which is affixed a pedestal 64p, upon which mirror 64 is mounted (Fig. 5C). (Fig. 5C merely shows one way of holding mirror 64 within head 12. It will be appreciated that other techniques could also be used to hold mirror 64.)

[0059] Finally, side or corner portions are cut off of block 100 so that mirrors 66, 74 and 78 can be mounted at the appropriate angle on block 100, e.g. using an adhesive or other technique.

[0060] It will be appreciated that in different embodiments, the various portions of block 100 can be removed in an order other than as described above.

VI. Reduction or Elimination of Stray Light Within Head 12

[0061] In accordance with one embodiment of our invention, several techniques are used to minimize the amount of stray light that might otherwise generate noise in output signals O20-O26. (Stray light can arise from several sources. For example, diode lasers often emit a "halo" around the main laser beam 16. Also, stray light can result from unwanted reflection off of lenses, masks or other elements within head 12.) In one

embodiment, black tubing is inserted into the various openings and applied to the walls of the optical paths to absorb stray light therein. The surface of the tubing is blackened by an electroplating technique. (In one embodiment, nickel is electroplated onto the tubing walls. One type of light absorptive layer is available from Epner Technology, Inc. of Brooklyn, N.Y. See also the pages from www.epner.com submitted as Exhibit A of our provisional patent application no. 60/643,748, filed January 13, 2005, incorporated herein by reference.) The black tubing constitutes a "light trap" for absorbing stray light.

[0062] In an alternative embodiment, in lieu of inserting black tubing into head 12, the interior of head 12 can be anodized to provide a dull black matte surface for the optical paths.

[0063] In one embodiment, a narrow band V-type AR (anti-reflective) coating is applied to the various lenses within head 12 to prevent multiple reflections. (As used herein, the term "V-type AR coating" also includes a "Super V-Type AR coating".) Such a coating is typically tailored to the wavelength of laser beam 16. Reflectivity exhibited by a lens coated in accordance with this embodiment is typically less than 0.25%.

[0064] One or more masks with slits are inserted within the optical paths or affixed to the lenses to reduce or prevent stray light which would otherwise interfere with operation of head 12.

[0065] Finally, masks or irises are provided in front of one or more of detectors 20-26. (The irises are masks that can have an opening of an adjustable size.)

[0066] The above-mentioned masks, coatings and irises prevent or reduce stray light, e.g. light that would be present in the scattered light optical paths even in the

absence of a defect on platter 13. These masks, coatings and irises are designed and placed to avoid impacting or substantially impacting light caused by defects on platter 13.

[0067] In addition, one or more other masks can be provided to block light caused by a desired texture or a pattern deliberately provided on the surface of platter 13 (e.g. for discrete track recording). These masks in the output optical paths that eliminate or reduce the above-mentioned light caused by diffraction due to patterns on platter 13 can, however, block some portion of the light caused by defects.

[0068] While antireflective coatings are provided on all lenses in one embodiment, in another embodiment, antireflective coatings are only provided on some lenses, e.g. lenses 58 and 62. Similarly, in some embodiments, light trap tubing is only placed along some of the optical paths, e.g. input paths 102 and 103 and small angle scatter output paths 111 and 106. Also, in some embodiments, an iris is only provided in front of detector 22.

[0069] The importance of reducing stray light can be appreciated in light of the following. In one embodiment, an avalanche photodiode with a gain of 300 is connected to a low noise transimpedance amplifier with a feedback resistor of 10,000 ohms, followed by a post amplifier with a gain of three. The bandwidth of the system is 10 MHz. The measured electronic noise was 0.45mV RMS, while the calculated value was 0.3 mV RMS. The measured shot noise with 118 nW of laser light impinging on the avalanche photodiode was 7.4 mV RMS, while the calculated value was 6.2 mV RMS. The shot noise is proportional to the square root of the light power. Therefore, in order to reduce the shot noise to the level of the electronic noise, the stray light should be of the

order of 1 nW or less. Since the typical laser power is 20 mW, one should attempt to reduce the laser stray light to 0.0005% of the laser power.

[0070] Although some embodiments include the masks, irises, tubing for absorbing or trapping light, and/or antireflective coatings, other embodiments lack these features.

VII. Embodiment with Reduced Number of Lenses

[0071] Fig. 6A schematically illustrates platter 13, scattered light 16-2, collecting lens 72, concentrating lens 76 and detector 22. (Mirror 74 has been eliminated from Fig. 6A for ease of illustration.) If the light between lenses 72 and 76 is substantially collimated, optical distance D1 can be arbitrarily long without affecting operation of head 12. While one embodiment employs both lenses 72 and 76, in another embodiment, a single lens 72' both collects light 16-2 and concentrates light 16-2 onto detector 22 (Fig. 6B). In like manner, instead of passing light 16-3 through both lenses 77 and 80, a single lens can be used. Similarly, instead of passing light 16-1' through both lenses 62 and 68, a single lens can be used.

[0072] In the embodiment of Fig. 6B, distance D1' depends upon the focal characteristics of lens 72'. Distance D1' cannot be arbitrarily selected. Also, if lens 72' were identical to lens 72, the distance D2 between platter 13 and lens 72' would have to be greater than the corresponding distance D3 between lens 72 and platter 13. This would necessitate a loss of effective numerical aperture for lens 72' compared to lens 72.

VIII. Embodiments Comprising Two Test Heads

A. Displacement of Laser Spot on Platter

[0073] As mentioned above, in one embodiment, a single test head 12 is provided for testing upper surface 13u of platter 13. In other embodiments, a second test head 12d (Fig. 7) is provided for testing the lower surface of platter 13 while test head 12 tests the upper surface of platter 13. In one such an embodiment, head 12d is modified slightly to provide space for spindle S. Further, the position of lens 62d in head 12d is slightly offset compared to the position of lens 62 in head 12. (As used herein, the letter "d" is added to the element reference number to distinguish between a structure in lower head 12d and a corresponding structure in upper head 12.) Further, whereas in one embodiment upper laser beam 16 traces a path 122 (Fig. 8) along upper surface 13u of platter 13 (i.e. in the radial direction of platter 13), lower laser beam 16d traces a slightly different path 122d along lower surface 13d of platter 13 that is displaced by a distance D4 from such a radial path. This is done to enable the use of lens 62d with a high numerical aperture (high collection efficiency) in the presence of spindle S. (In one embodiment, distance D4 is 4.763 mm, the diameter and back focal length of lens 62d are 25mm and 20.2 mm, respectively, and the minimum radius to be scanned is 15.5 mm. The effective diameter of lens 62d is 22 mm. Lens 62 is identical to lens 62d. These values are merely exemplary.)

[0074] Figs. 9 and 10 illustrate a portion of head 12d in plan view (looking up) and side view, respectively. (In Figs. 9 and 10, the optical elements associated with portions 16-2d and 16-3d of the reflected laser light as well as the elements pertaining to upper surface 13u have been eliminated for sake of clarity.) In Figs. 9 and 10, laser beam

16d strikes a point 124d on surface 13d near the inner diameter of platter 13. (Point 124d is eclipsed, and therefore not visible, in Fig. 10.) Lens 62d receives a cone of light from point 124d at an angle β. It will be appreciated that if point 124d were not displaced from radius R of platter 13 by distance D4, angle β would be reduced because lens 62d would be further away from point 124d. Lens 62d could not be moved closer to point 124d because spindle S would be in the way. By displacing point 124d in the manner shown, one need not reduce angle β, and therefore the numerical aperture of lens 62d can be increased. This has the benefit of providing more light energy to detector 22d.

[0075] The effect described above with respect to Figs. 9 and 10 is equivalently achieved in the manner shown in Fig. 11. Referring to Fig. 11, track 130 represents the innermost track of platter 13 that is to be scanned. (The term "track" is used herein includes embodiments in which the tracks are part of a continuous spiral and embodiments in which the tracks are discrete.) Laser beam 16d strikes point 124d on platter 13 such that the plane of incidence is not tangential with track 130. Rather, in the illustrated embodiment, the plane of incidence forms an angle θ (in one embodiment, 17.90°) with respect to track 130. By arranging the plane of incidence and track 130 as described above, one can arrange lens 62d so that track 130 can be scanned without sacrificing numerical aperture.

[0076] It is noted that the cone of light of incident laser beam 16d is much narrower than the cone of reflected light 16-1d. This characteristic of the incident and reflected beams enables being able to employ a high NA for lens 62d using the displacement technique discussed above.

[0077] As mentioned above, in one embodiment laser beams 16, 16d scan top and bottom surfaces 13u, 13d of platter 13 simultaneously. It is more important that lower laser beam 16d is displaced in the manner discussed above (or having the plane of incidence intersect with track 130 as discussed above) because spindle S (which extends below, but generally not above, platter 13) interferes with placement of lens 62d. Thus, displacement of the upper laser beam 16 is unnecessary. Although unnecessary, in some embodiments upper laser beam 16 is displaced so that heads 12 and 12d can be substantially identical. In fact, Figs. 3A to 3D show a half-cylindrical section 132 cut out of head 12. This is useful if heads 12 and 12d are to be identical, and it allows room so that head 12d can accommodate spindle S when scanning the inner tracks of surface 13d.

[0078] Because beam 16d is displaced, the software processing the output signals from detectors 20d to 26d takes into account this displacement when generating a "map" of the characteristics of surface 13d as described below.

B. Angle of Laser Beam 16 With Respect to Beam 16d

[0079] In one embodiment, heads 12 and 12d are arranged to avoid or minimize interference of laser beam 16 on head 12d, and to avoid or minimize interference of laser beam 16d on head 12. This can be accomplished by selection of the angle of incidence of laser beams 16 and 16d on platter 13. Fig. 12 shows in plan view the juxtaposition of heads 12, 12d and platter 13. Fig. 12 also indicates a) direction A2 of travel of platter 13, b) the direction A3 of incident laser beam 16 (after leaving mirror 54) and specularly reflected laser beam 16" (prior to striking mirror 64) in the plane of platter 13, and c) the

direction A4 of incident laser beam 16d (after leaving mirror 54d) and specularly reflected laser beam 16d" (prior to striking mirror 64d) in the plane of platter 13.

[0080] As can be seen directions A3 and A4 are at an angle γ such that beams 16" and 16d" travel in different directions. (Angle γ is typically greater than 0° but less than 20°.) This angle reduces the probability that light scattered from one side of platter 13 will travel to the collection lenses on the other side of platter 13 when beam 16 is near the outer edge of the platter. Advantageously, this prevents "cross communication" or interference between laser light in head 12 from affecting head 12d and vice versa.

[0081] As can be seen in Fig. 12, directions A3 and A4 are somewhat close to being antiparallel. Thus, in the embodiment of Fig. 12, heads 12 and 12d can be identical, with head 12d being a "flipped over" version of head 12. The facts that a) directions A3 and A4 are close to antiparallel; b) beam 16 travels generally away from mirror 64d; and c) beam 16d travels generally away from mirror 64 also serve to prevent cross-interference between heads 12 and 12d (especially when beams 16 and 16d strike points close to the outer diameter of platter 13). However, in another embodiment, however, directions A3 and A4 need not be close to antiparallel.

[0082] Fig. 12 shows that points 124, 124d are displaced from one another by distance D4 (discussed above). However, in an alternate embodiment, spot 124 is directly over spot 124d. In yet another embodiment, spots 124 and 124d are displaced by a distance of two times D4. (In such an embodiment, heads 12 and 12d can be identical.)

[0083] Although directions A3 and A4 form angle γ, in one embodiment, directions A3 and A4 are antiparallel. In yet another embodiment, directions A3 and A4 are closer to parallel than antiparallel, but still form an angle γ with respect to one another.

IX. Quad Detector 20 and Circuit C20

[0084] In one embodiment, detector 20 is a quad detector 20 such as a semiconductor device having four regions 20-1, 20-2, 20-3 and 20-4 (Fig. 13). A spot 150 of portion 16-1" of laser light 16 strikes detector 20 as described above. If laser beam 16 strikes a defect on surface 13u, depending upon the slope of the defect walls, spot 150 will be deflected away from the center C of detector 20. If spot 150 is deflected in a direction A5, the output signal from region 20-2 will be greater than the output signals from regions 20-1, 20-3 and 20-4. If a steeper defect is encountered by beam 16 on surface 13u, spot 150 will move further in direction A5, and the output signal from region 20-2 will be greater than it would have been if a less steep defect was encountered.

[0085] If a defect causes spot 150 to be deflected in direction A6, the output signal from region 20-1 will exceed that of regions 20-2 to 20-4. In this way, detector 20 provides signals to circuit C20 indicating the direction and steepness of a wall of a defect on surface 13u.

[0086] In one embodiment, circuit C20 includes analog circuits 200, 201 and 202 (Fig. 14) which generate signals S200, S201 and S202 proportional to (I1+I2), (I3+I4) and (I1+I2)-(I3+I4), respectively, where I1, I2, I3 and I4 are the amounts of light striking regions 20-1, 20-2, 20-3 and 20-4, respectively. Signal S202 indicates the extent to which portion 16-1" of laser light is deflected upward or downward, e.g. by defects in the surface of platter 13. Circuit C20 also includes analog circuits 203, 204 and 205, which generate signals S203, S204 and S205, proportional to (I1+I3), (I2+I4) and (I1+I3)-(I2+I4), respectively. Signal S205 indicates the extent to which portion 16-1" of the laser

light is deflected to the left or right. Circuit C20 also includes analog circuit 207 which generates an electrical signal S207 having a voltage proportional to (I1+I2+I3+I4). Signal S207 represents the total amount of light striking detector 20. Signals S202 and S205 are typically normalized (e.g. divided by) the value I1+I2+I3+I4 (S207) so that the apparatus is insensitive to laser output power fluctuations and reflectivity variations of regions of platter 13. Normalization can be done using analog techniques. However, signals S202, S205 and S207 can also be digitized (e.g. using an analog to digital converter), and normalization can be done digitally, e.g. using a computer as described below.

[0087] As mentioned above, in one embodiment, circuits 200-207 sum and subtract various signals using analog techniques. However, in other embodiments, signals I1 to I4 can be digitized, and the summing and subtraction can also be done digitally. As discussed above, the summing and subtraction are typically done in a plurality of stages (e.g. summing first, subtracting second). However, in other embodiments, these functions can be performed in one stage.

X. Description of Circuits C22, C24 and C26

[0088] Circuits C22, C24 and C26 (for processing the output signals of detectors 22-24) are identical. Fig. 15A illustrates circuit C22. As can be seen, output signal O22 from detector 22 is provided to an analog-to-digital converter 300, which provides its output data to a FIFO memory 302. The output of FIFO memory 302 can be asynchronously read by a microprocessor 304. In this way, microprocessor 304 reads data from FIFO memory 302 corresponding to the output signal provided by detector 22.

Microprocessor 304 provides these data to a general purpose processor 306 via a high speed bus interface circuit 308 and a bus 310 (in one embodiment a USB bus). (Processor 306 then performs additional processing on the data from FIFO memory 302.) In one embodiment, microprocessor 304 is a device such as model C8051F120, available from Silicon Laboratories, and has a clock speed of 100 MHz. However, other microprocessors can also be used. Also, while processor 306 is typically a general purpose processor, alternatively, it can be a digital signal processor, e.g. a Texas Instruments TMS320F2812, which can operate at 150 MIPS.

[0089] Interface circuit 308 receives data on a set of buses 312, which are driven by microprocessors in circuits C20, C24 and C26 similar to microprocessor 304.

[0090] Advantageously, in one embodiment, digital values of signal O22 are only stored in FIFO memory 302 when signal O22 exceeds a threshold signal THR. This is an advantage because it enables efficient use of FIFO memory 302 by storing only data that are of interest for evaluating characteristics of platter 13. Thus, by only selecting these digital values, the memory and processor requirements of circuit C22 and processor 306 are reduced. The manner in which this is accomplished is as follows. As seen in Fig. 15A, a write data enable signal DEN for FIFO memory 302 is provided by an analog comparator 316. Signal DEN is only active when signal O22 from detector 22 exceeds threshold signal THR. Thus, data are only stored in FIFO memory 302 when signal O22 exceeds signal THR.

[0091] Signal THR is an analog signal generated by digital to analog converter 318, which in turn is controlled by microprocessor 304. Thus, microprocessor 304 controls the magnitude of signal THR. Signal THR is user-selectable so that only events

of interest are passed. (In general, signal THR is made to be greater than the signal noise level.) Optionally, in one embodiment, microprocessor 304 or processor 306 establishes the value of signal THR in response to the measured noise present in signal O22.

[0092] It is typically desirable to provide location data to processor 306 indicating the location on platter 13 that causes signals O22-O26 to exceed their associated threshold values THR. In one embodiment, this is done by providing a "track address" (identifying the position on surface 13u in a radial direction) and a "sector address" (identifying the position on surface 13u in a circumferential direction) to processor 306 where the conditions of surface 13u cause signal O22 to exceed threshold signal THR. In one embodiment, circuitry is provided which indicates the start location (track and sector address) of an area on surface 13u where signal O22 begins to exceed signal THR, and the end location on surface 13u where signal O22 falls below signal THR.

[0093] Fig. 15B illustrates address circuit 400 for providing the start and stop addresses. Circuit 400 includes a spindle index input lead 402 and a sample clock input lead 404. Spindle index input lead receives a pulse every time platter 13 completes a revolution. These pulses are counted by a counter 406, which provides a track address on a track address bus 408 in response thereto. The track address is the number of the track currently scanned by laser beam 16.

[0094] A second counter 410 receives input pulses from sample clock input lead 404. In one embodiment, these pulses are provided at a rate of 249,856 pulses per platter revolution, although this number is merely exemplary. The sample clock pulses are synchronized with the disk rotation. In one embodiment, this is accomplished by providing an optical spindle encoder schematically represented as box 412 coupled to

spindle S. This encoder provides 512 pulses per platter revolution. A clock circuit 414 is coupled to receive these pulses and generate the sample clock pulses in response thereto using a phase-locked loop to create an in-phase multiple of the spindle encoder pulses. Counter 410 counts the sample clock pulses and provides a sector address on a bus 418.

[0095] The track and sector addresses are stored in FIFO memories 420 and 422, respectively in response to signal AEN. (Signal AEN goes active when signal O22 first exceeds threshold THR, and again when signal O22 falls below threshold THR. Thus, signal AEN represents the beginning and end locations of a defect on surface 13u.) Microprocessor 304 asynchronously reads the track and sector addresses from FIFO memories 420 and 422 via a bus 424. These addresses are then provided by microprocessor 304 to processor 306 via interface circuit 308 and bus 310.

[0096] As mentioned above, separate counters 406, 410 are used to generate track and sector addresses. However, in an alternate embodiment, a single counter can be used to generate both the track and sector addresses. (In one such an embodiment, the sector address is Q modulus N, where Q is the value stored in the single counter and N is the number of sectors per revolution. The track address is the integer portion of Q/N.) The output from this single counter can be provided to a FIFO memory of appropriate width. (Alternatively, one can construct a counter in which the lower counter bits constitute the sector address, the upper counter bits constitute the track address and only increment when the lower bits reach the value N, and the lower bits reset upon reaching N.)

[0097] As mentioned above, signal O22 in analog form is compared to threshold signal THR. However, in an alternative embodiment, signal O22 is digitized (or otherwise provided in digital form) and threshold THR is in the form of a digital value.

The digitized signal O22 is compared with this digital threshold THR value to generate signals AEN and DEN.

[0098] Although in some embodiments, signal THR can be changed by microprocessor 304, in other embodiments, signal THR cannot be changed.

[0099] While the above-described embodiments pass information to the various FIFO memories whenever signal O22 exceeds signal THR, in some embodiments, information is only passed to the FIFO memories when signal O22 is less than an upper threshold value. In yet another embodiment, information is only passed to the FIFO memories when signal O22 is simultaneously greater than signal THR and less than an upper threshold value. In yet another embodiment, information is only passed to the FIFO memories when signal O22 is either less than signal THR (a lower threshold) or greater than an upper threshold value.

[0100] As mentioned above, circuit C20 (which processes output signals from quad detector 20) provides output signals S202 and S205 (corresponding to the vertical and horizontal deflection of portion 16-1" of laser beam 16) and signal S207 (corresponding to the total amount of power within portion 16-1"). Signals S202 and S205 are provided via an amplifier to circuits that are substantially identical to two iterations of circuit C22 (one for signal S202, and one for signal S205), where they are digitized and passed to microprocessor 304 and processor 306 if they exceed associated threshold voltages.

[0101] Signal S207 is passed to microprocessor 304 of circuit C20 and processor 306 whenever signal S202 or S205 is converted to a digital value, stored in a FIFO

memory which is asynchronously read by microprocessor 304 and passed on to processor 306. In this way, signals S202 and S205 can be normalized by processor 306.

XI. Detailed Description of an Embodiment of Circuits C22-C24

[0102] Figs. 16A and 16B illustrate in greater detail the structure of Figs. 15A and 15B. In Figs. 16A and 16B, WRclk, Wren, WR Prt, RDclk, Rden and RD Prt refer to the write clock, write enable, write port, read clock, read enable and read port. The counter input CIR resets counters 406 and 410. The input Din increments counters 406 and 410. Signal SCLK is generated from clock circuit 414. Fig. 16C shows a write enable sequence logic circuit 426 that can be used to generate signals DEN and AEN. Circuit 426 is useful because analog to digital converter 300 typically exhibits a finite pipeline delay of several cycles of clock signal SCLK. Circuit 426 facilitates proper loading of the FIFO memories given this pipeline delay. As shown in Fig. 16C, in one embodiment circuit 426 comprises a network of serially connected D-type flip-flops 427 that generate signals DEN and AEN in such a manner that these signals only go active if signal O22 exceeds threshold signal THR for a certain amount of time. (As mentioned above, signal DEN enables writing data to FIFO memory 302. Signal AEN enables writing data to FIFO memories 406 and 410.) Each of D Flip-flops 427 stores the out put signal of comparator 316 delayed by an associated number of pulses of clock signal SCLK. Circuit 426 provides two gating signals, one for generating signal DEN and one for generating signal AEN. The timing for signals DEN and AEN are generated from the output signal of comparator 316 and the pulse train that constitutes signal SCLK. In particular, signals DEN and AEN are based on selected states of the flip-flops 427. (For

example, signal DEN is the output of comparator 316 delayed by four pulses of clock signal SCLK. Signal AEN comprises one pulse on the rising edge of signal DEN and one pulse immediately before signal DEN falls.) The circuit shown in Fig. 16C is merely exemplary.

XII. Robotics Used in Conjunction with Head 12

[0103] Fig. 17A schematically illustrates a "cell" 500 for testing platters in a manufacturing environment. A conveyor 502 provides cassettes 504 of platters 13 to be inspected. A robotic arm 506 provides platters 13 to either test apparatus 10a or test apparatus 10b. (Both apparatus 10a and 10b typically comprise both upper and lower heads 12, 12d for testing both sides of platters 13.) After test apparatus 10a tests a platter 13, arm 506 grabs platter 13 and places it either in a reject container 508, a pass cassette 510, or a further evaluation cassette 512a. (Typically, the vast majority of platters, e.g. more than 90% of the platters, should be placed in pass cassette 510.) The platters deposited in reject container 508 are not necessarily handled with the degree of care that would be needed if the platters were to be subjected to further manufacturing steps. However, the platters in cassettes 510 or 512a are typically maintained with such care. After arm 506 moves a platter 13 from apparatus 10a to one of cassettes 510 or 512a or container 508, arm 506 takes another platter 13 from cassette 504 and places it in test apparatus 10a to be evaluated.

[0104] In like manner, after test apparatus 10b evaluates a platter 13, arm 506 places that platter either in reject container 508, or one of cassettes 510 or 512a,

depending upon the outcome of testing. Thereafter, arm 506 takes another platter from cassette 504 and places it in apparatus 10b.

[0105] Advantageously, container 508 has a very large capacity and does not need to be replaced often. Thus, it is unnecessary to shut down cell 500 very often to empty container 508.

[0106] Although Fig. 17A shows robotic arm 506 servicing two test apparatuses 10a, 10b, in alternative embodiments, cell 500 may comprise one or more test apparatuses, with arm 506 servicing the additional apparatuses. Also, although Fig. 17A shows cassette 512a for further evaluation, in other embodiments, several cassettes can be provided for receiving platters that are to be subjected to further evaluation (e.g. optional cassettes 512b and 512c, shown in phantom). Platters 13 may be placed in different ones of these cassettes depending upon specific characteristics of their surfaces as determined by test apparatus 10a, 10b. Also, although Fig. 17A shows one reject container 508, in other embodiments, a plurality of reject containers 508 can be provided. Also, although Fig. 17A shows only one arm 506, a plurality of arms can be provided in cell 500 for moving platters. For example, one of the arms can provide platters to test apparatus 10a, 10b, and another arm can provide platters to container 508 and/or cassettes 510 and 512a.

[0107] A safety enclosure 513 surrounds cell 500 to prevent injury to manufacturing personnel. In one embodiment, conveyor mechanisms 502 and 511 continuously carry new cassettes 504 and 510 into the area protected by enclosure 513.

[0108] An alarm 514a indicates if cassette 512a is full. Alarm 514a can provide an audible signal. Alternatively, alarm 514a can be a light that illuminates to indicate that cassette 512a is full. (Alarm 514a can be actuated either by a sensor that determines

that cassette 512a is full, or by a counter that determines that cassette 512a is full by counting the platters therein. Alarm 514a can be an LED, a small incandescent bulb, or other optical display element.) However, during the time between the actuation of alarm 514a and replacement of cassette 512a, robotic arm 506 places platters that would otherwise be placed in cassette 512a into container 508. In this way, while cassette 512a is full, cell 500 need not be turned off.

[0109] Of importance, cassette 512a is within a drawer 515a. When cassette 512a is full, it can be replaced by operating personnel by opening drawer 515a to thereby take cassette 512a outside of the area protected by enclosure 513. Thus, it is unnecessary to open enclosure 513 when replacing cassette 512a. This also reduces the amount of time required to replace cassette 512a, and in particular, facilitates making it unnecessary to shut down cell 500 when replacing cassette 512a. (Optional cassettes 512b and 512c are similarly situated in drawers 515b, 515c, and are removed from enclosure 513 in like manner. Alarms 514b, 514c (similar to alarm 514a) inform the machine operator when cassettes 512b, 512c are full, but during the interval between the time cassettes 512b, 512c are full and the time they are replaced, platters that would otherwise be deposited in cassettes 512b, 512c are placed in container 508.)

[0110] Typically, at least some of the platters normally placed in cassette 512a are recyclable. For example, they can be re-polished and then used. Alternatively, they can be sent for further failure analysis. Although these platters may be useful, placing them into reject container 508 is not so critical that it is worth shutting down cell 500 while waiting for cassette 512a to be replaced, especially since a fairly small percentage of the platters would be placed in cassette 512a.

[0111] In one embodiment, cell 500 is controlled by a control circuit such as a microprocessor or a microcontroller (not shown).

[0112] Although cell 500 includes container 508 within enclosure 513, in another embodiment, container 508 is outside enclosure 513, and a chute (not shown) extends from inside enclosure 513 to container 508. Robotic arm 506 drops platters into the chute, and they drop into container 508. This facilitates easy and quick replacement of container 508 when it becomes full.

[0113] Fig. 17B illustrates an alternative embodiment of a cell 500' in which a cassette 516 is provided on a conveyor 518. Cassette 516 provides platters to be tested by cell 500'. If the platters pass testing, they are placed back in cassette 516. In this way, one cassette is used as both an input and output cassette. Conveyor 518 provides a steady flow of cassettes into and out of the area protected by enclosure 513.

[0114] While cells 500, 500' include test apparatuses 10a, 10b including test heads as described above, in other embodiments, cells 500, 500' can include other types of testers, e.g. the testers described in the above-incorporated Treves patents. In yet another embodiment, the testers can test magnetic disks for different characteristics. For example, the testers can test finished magnetic disks for magnetic characteristics. In such an embodiment, the testers incorporated into such a cell would include a motor for rotating a spindle that in turn holds the disks being tested and one or more read-write heads for reading data from or writing data to the disks. (As used herein, the term "tester" includes apparatus including one or more test heads as described above, other optical testers that include a light source for providing a light beam to a workpiece and a

detector for detecting reflected light such as the testers described in the Treves patents, and testers that test magnetic characteristics of a disk e.g. as described in this paragraph.)

[0115] While the invention has been described in detail, those skilled in the art will appreciate that changes can be made in form and detail without departing from the spirit and scope of the invention. For example, a head in accordance with our invention can include more or fewer optical elements than described above. Different types of optical elements can be included in the path of the incident or reflected light. Different numbers of incident light paths can be used. Also, different numbers of reflected light paths (e.g. one to six) can be used.

[0116] Although the above-described heads are made from a monolithic block of material, in other embodiments, the heads are not made from a monolithic block of material. Also, although the above-described apparatus comprises two laser sources 14, 14d, one for top head 12 and one for the bottom head 12d, in another embodiment, a single laser source can be used in conjunction with a beam splitter to provide two laser beams. Also, apparatus in accordance with the invention can be used to inspect different types of workpieces. One or more of the different features described above can be used without the other features described above.

[0117] In one embodiment, collecting lenses 62, 72 and 77 can collimate light passing therethrough. However, in other embodiments, the light passing through these lenses need not be completely collimated. Similarly, lenses 68, 76 and 80 concentrate light. Optionally, these lenses may focus light on detectors 22-24, but this is not absolutely necessary. Accordingly, all such changes come within the invention.

We claim:

1. A cell for inspecting workpieces comprising:

a source of workpieces to be inspected;

a first tester for inspecting said workpieces.

a first output container for receiving acceptable workpieces;

a second output container for receiving workpieces that are to be further evaluated and/or re-worked;

a third output container for receiving rejected workpieces; and

one or more robotic arms for taking workpieces from said input container and providing said workpieces to said first tester, said one or more robotics arm also taking said workpieces from said first tester and placing them in one of said first, second or third output containers in response to inspection performed by said first tester;

wherein when said second container is full, said cell continues to operate such that workpieces that would otherwise be placed in said second output container are placed in said third container.

2. Cell of claim 1 wherein said first and second containers preserve the workpieces contained therein in a condition suitable for further manufacturing steps, but said third output container does not maintain said workpieces in said condition.

3. Cell of claim 1 wherein said workpieces are platters.

4. Cell of claim 1 further comprising a second tester for inspecting workpieces, said one or more robotic arms also providing workpieces in said second tester and moving said workpieces from said second tester to said first, second or third output containers in response to said inspection by said second tester, and wherein said cell further comprises a fourth output container for receiving workpieces for further evaluation and/or re-working.

5. Cell of claim 1 further comprising a safety enclosure enclosing said cell, said third output container being in a drawer that can be removed from said safety enclosure and replaced without shutting down said cell.

6. Cell of claim 1 wherein said first output container is said source of workpieces to be inspected.

7. Cell of claim 1 wherein said tester is an optical tester or a magnetic tester.

8. Method comprising:

causing one or more robotic arms to move a set of workpieces from a source of workpieces to a first tester;

inspecting said workpieces with said first tester;

causing said one or more robotic arms to place inspected workpieces in either a first, second or third output container in response to said inspecting, said first output container containing acceptable workpieces, said second output container containing

workpieces to be further evaluated and/or re-worked, said third output container being a reject container; and

causing said robotic arm to place workpieces that would otherwise be placed in said second container to be placed in said third container when said second container is full.

9. Method of claim 8 wherein said first and second containers preserve the workpieces contained therein in a condition suitable for further manufacturing steps, but said third output container does not maintain said workpieces in said condition.

10. Method of claim 8 wherein said workpieces are platters.

11. Method of claim 8 further comprising:

causing said one or more robotic arms to move workpieces from said input container to a second tester;

inspecting the workpieces placed in said second tester;

causing said one or more robotic arms to move said workpieces from said second tester to said first, second or third output containers or a fourth container in response to said inspection by said second tester, said fourth output container receiving workpieces for further evaluation and/or re-working.

12. Method of claim 8 wherein a first one of said one or more robotic arms provides said workpieces to said test head and a second one of said one or more robotic arms provides said test heads to said first, second or third output containers.

13. Method of claim 8 wherein a single arm moves workpieces to said test head and provides said workpieces to one of said first, second or third output containers.

14. Method of claim 8 wherein said source of workpieces is said first output container.

15. Method of claim 8 wherein said one or more robotic arms, said first tester, said source of workpieces, and said first, second and third containers are within a safety enclosure, and second container is in a drawer, said method further comprising replacing said second container by:

opening said drawer to thereby withdraw said second container from said safety enclosure;

replacing said second container in said drawer; and

closing said drawer.

Abstract

A manufacturing cell for inspecting workpieces such as magnetic disk substrates comprises an input conveyor for providing workpieces to be tested, one or more testers for inspecting the workpieces, and three or more output receptacles for receiving tested workpieces. One or more robotic arms move the workpieces from the input conveyor to the tester and from the tester to one of the output receptacles depending upon the results of the test performed by the tester. The output receptacles include a pass receptacle, a reject receptacle, and at least an additional receptacle for workpieces that are to be re-worked or studied further. If the additional receptacle is full, workpieces that would otherwise be provided to the additional bin are placed in the reject receptacle. The reject receptacle is very large, so that it is rarely filled to capacity, and it is rarely necessary to shut down the manufacturing cell to replace the reject receptacle.

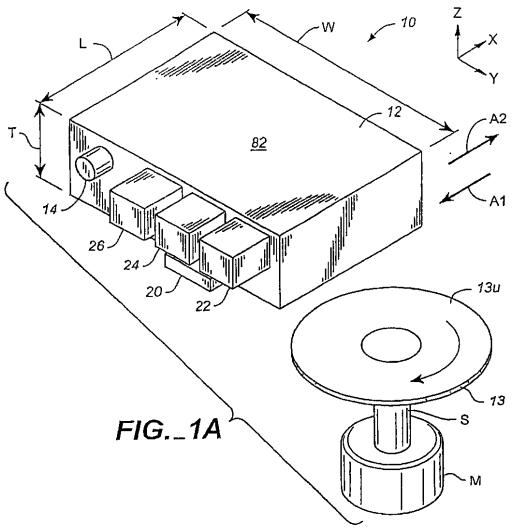


FIG._1A

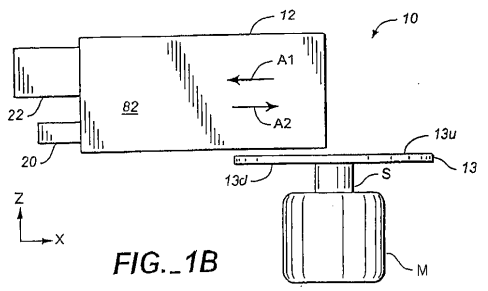


FIG._1B

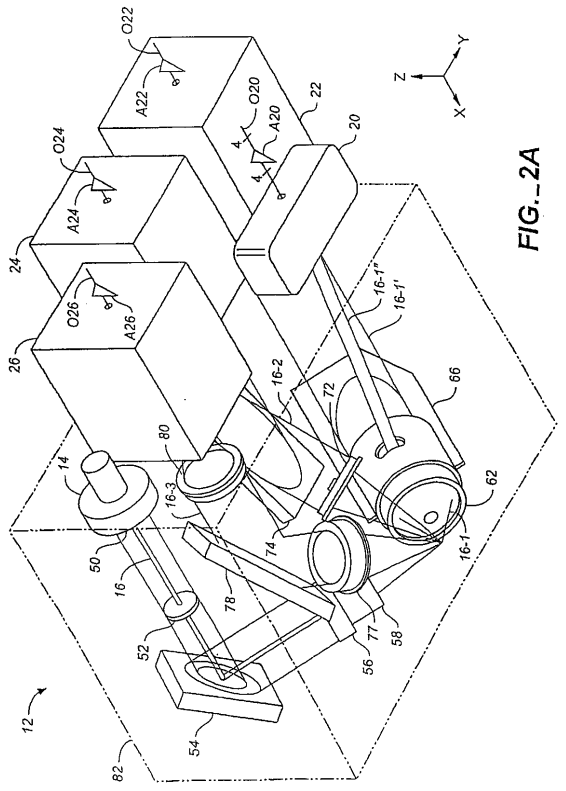


FIG._2A

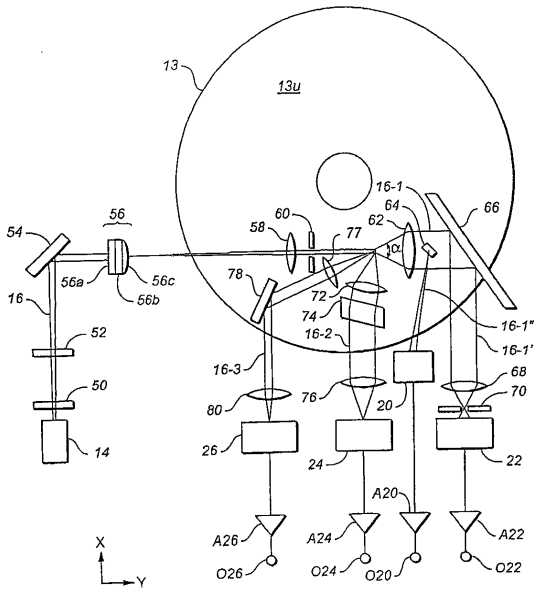


FIG._2B

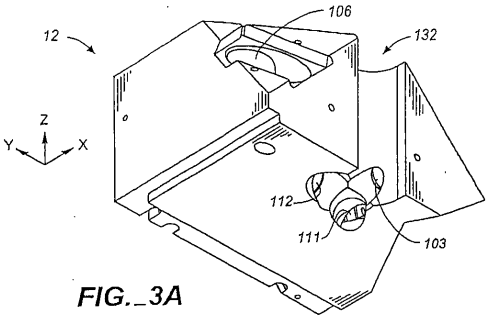


FIG._3A

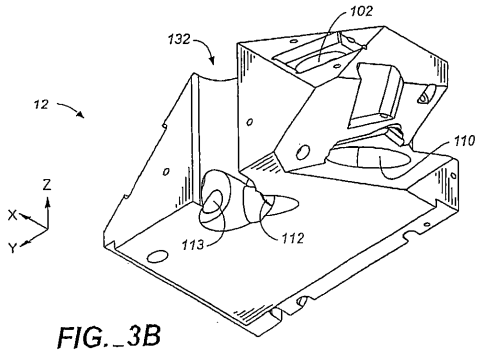


FIG._3B

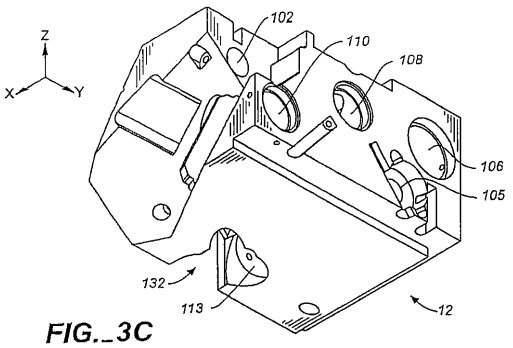


FIG._3C

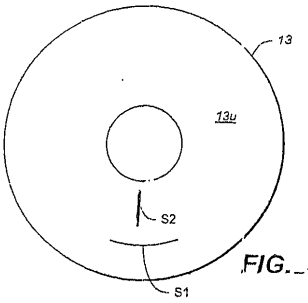


FIG._4

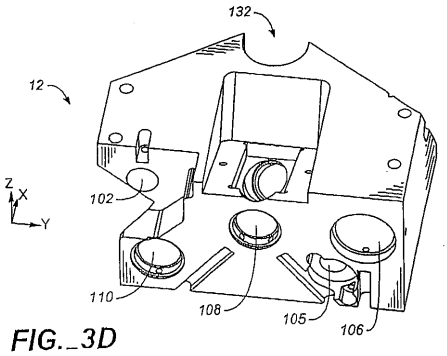


FIG._3D

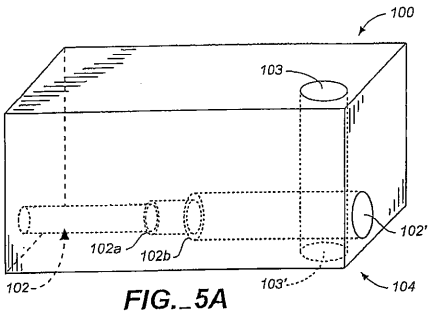


FIG._5A

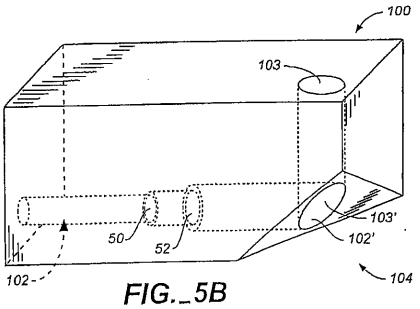


FIG._5B

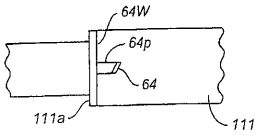


FIG._5C

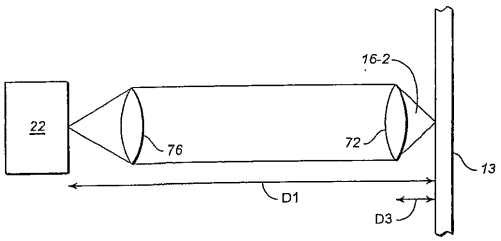


FIG._6A

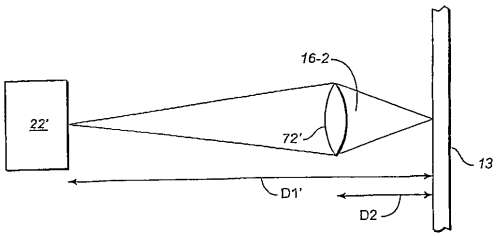


FIG._6B

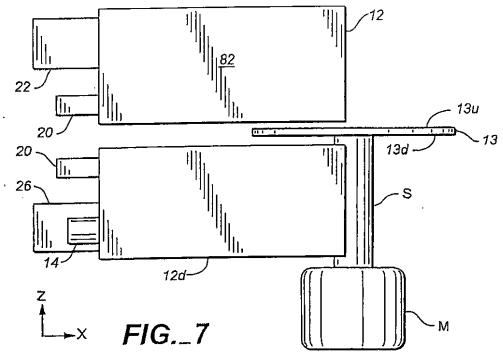


FIG._7

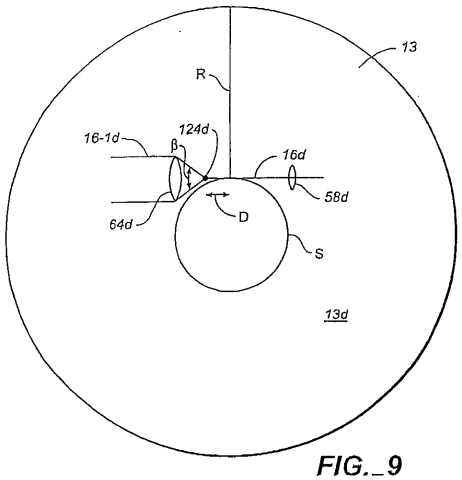


FIG._9

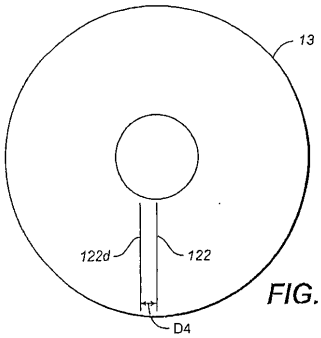


FIG._8

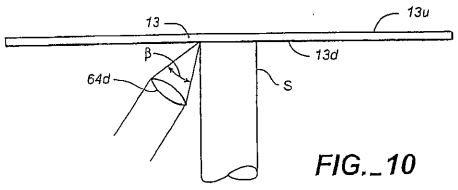


FIG._10

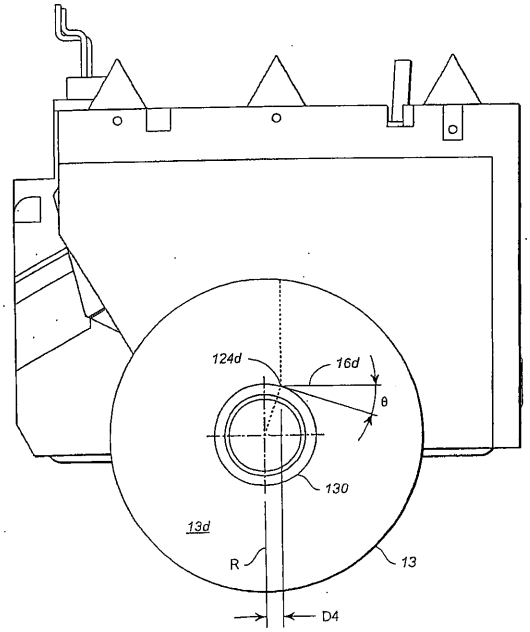


FIG._11

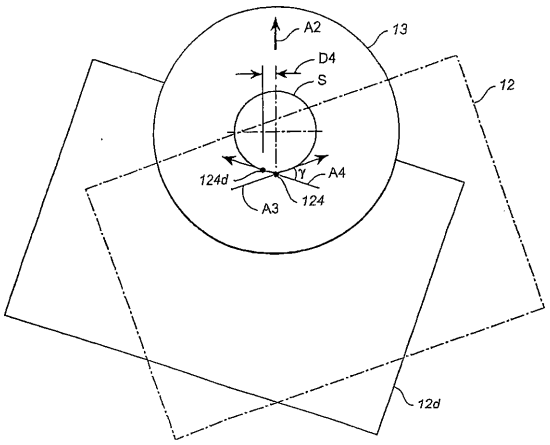


FIG._12

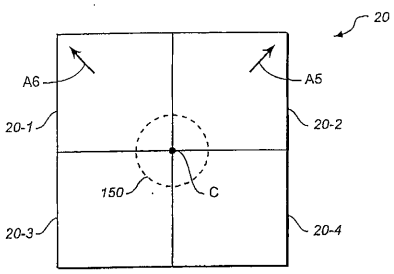


FIG._13

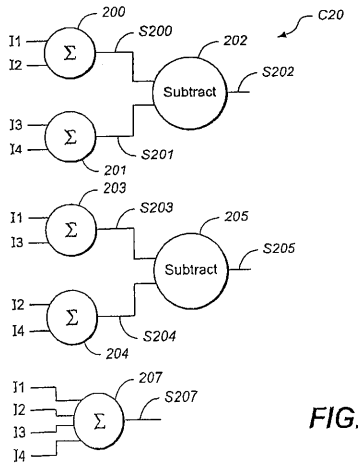


FIG._14

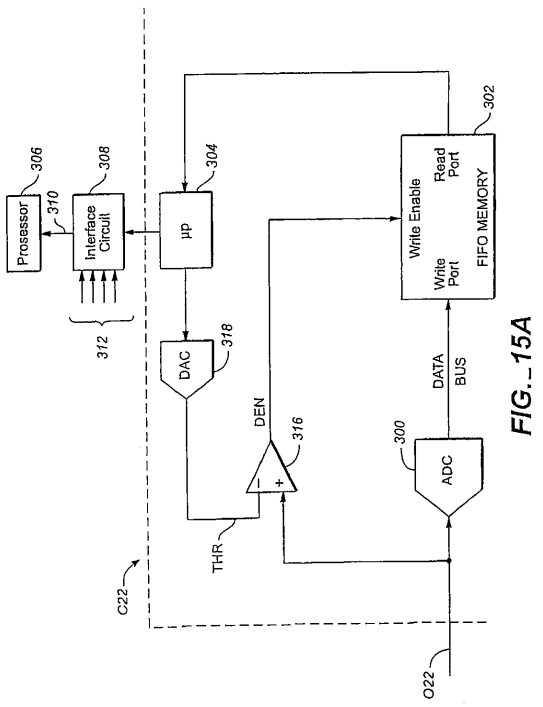


FIG._15A

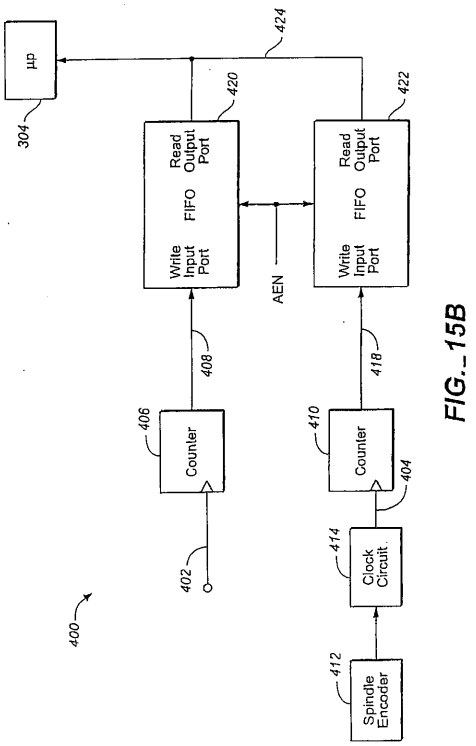


FIG._15B

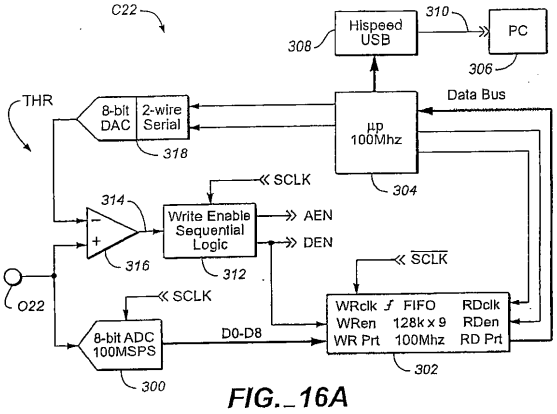


FIG._16A

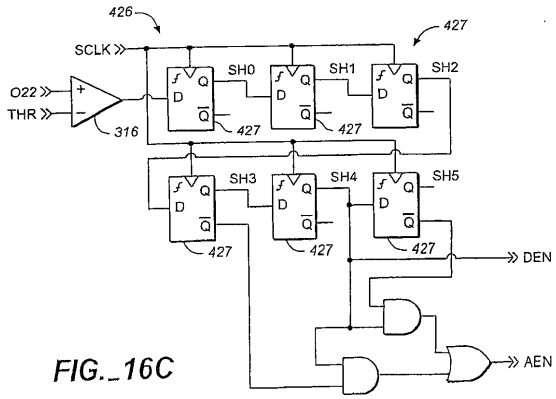


FIG._16C

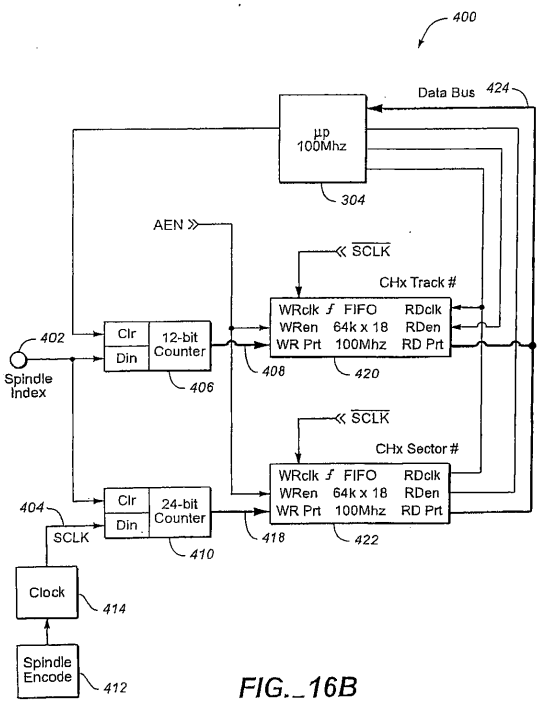


FIG._16B

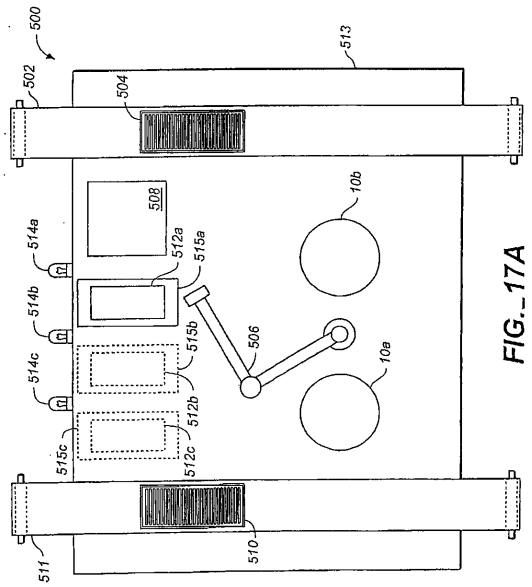


FIG._17A

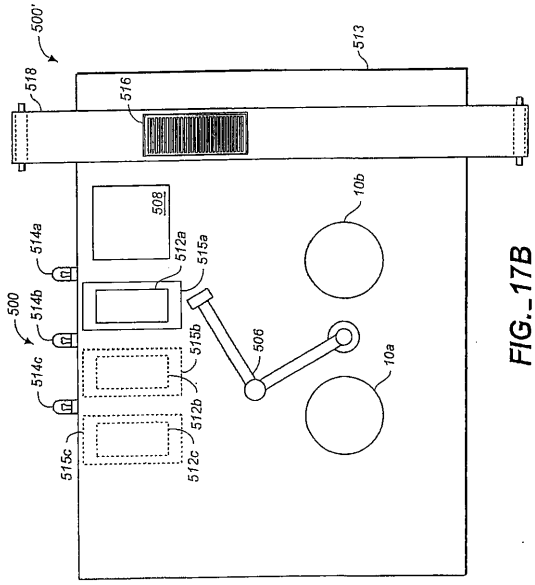

500'
513
518
516
508
10b
514a
512a
515a
500
514b
515b
506
10a
514c
512b
515c
512c

FIG._17B