

(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2006-194898

(P2006-194898A)

(43) 公開日 平成18年7月27日(2006.7.27)

(51) Int. Cl.		F I			テーマコード (参考)	
GO 1 N	21/95	(2006.01)	GO 1 N	21/95	A	2 F 0 6 5
GO 1 B	11/30	(2006.01)	GO 1 B	11/30	A	2 G 0 5 1
G 1 1 B	5/84	(2006.01)	G 1 1 B	5/84	C	5 D 1 1 2

審査請求 未請求 請求項の数 22 O L 外国語出願 (全 74 頁)

(21) 出願番号 特願2006-33040 (P2006-33040)
 (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 11/112044
 (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9513
 1-1873・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

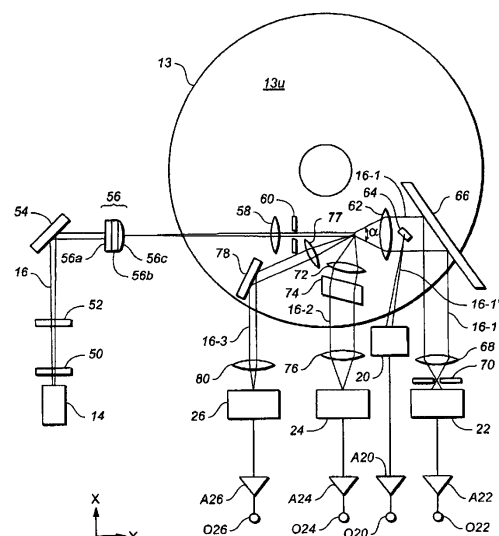
(54) 【発明の名称】 光学的テストヘッドの漂遊光を減少又は排除する方法及び装置

(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】 光学的テストヘッドは、光ビームを光源からワークピースへ通信する1つ以上の入力光学路と、ワークピースから反射された光を検出器へ通信する1つ以上の出力光学路とを備えている。これら入力光学路及び出力光学路は、1つ以上のミラー及び1つ以上のレンズを含むことができる。光学路の少なくとも1つは、漂遊光を捕獲し及び/又は吸収するための層を含む。1つ以上のレンズは、レンズからの望ましからぬ光の反射により生じるノイズを減少するための反射防止コーティングを含む。光学路は、漂遊光を減少するための1つ以上のマスクを含む。1つ以上のマスクは、調整可能なアパーチャー（例えば、虹彩）を有することができる。

【選択図】 図2 B



【特許請求の範囲】**【請求項 1】**

光源からの光を受け取りそしてその光をワークピースへ通信するための少なくとも 1 つの入力経路と、

光を受け取りそしてそれに応答して信号を発生するための光検出器と、

前記ワークピースから反射された光を受け取りそしてその光を前記検出器へ通信するための少なくとも 1 つの出力経路と、

を備え、前記少なくとも 1 つの出力経路又は少なくとも 1 つの入力経路の少なくとも一方が、漂遊光を吸収し及び / 又は捕獲するための光吸収層を含むようにした装置。

【請求項 2】

前記装置は、材料のモノリシックブロックを備え、前記入力及び出力経路は、前記材料ブロックを経て延びて光を通信し、前記光吸収層は、前記経路の少なくとも 1 つに設けられる、請求項 1 に記載の装置。

【請求項 3】

前記経路の 1 つの中にチューブを更に備え、このチューブが前記光吸収層を含む、請求項 2 に記載の装置。

【請求項 4】

前記光吸収層は、前記材料をアノード処理することにより形成される、請求項 2 に記載の装置。

【請求項 5】

前記ワークピースはブラッターである、請求項 1 に記載の装置。

【請求項 6】

光源からの光を受け取りそしてその光をワークピースへ通信するための少なくとも 1 つの入力経路と、

前記ワークピースから反射された光を受け取りそしてその光を前記検出器へ通信するための少なくとも 1 つの出力経路と、

前記経路の少なくとも 1 つの中にあって、前記少なくとも 1 つの前記経路における漂遊光を減少又は排除するための 1 つ以上のマスクであって、前記漂遊光は、前記ワークピースに欠陥が存在しなくても生じる光の成分であり、前記欠陥の結果として前記少なくとも 1 つの前記経路の前記 1 つに生じる光に実質的に影響を及ぼさないような 1 つ以上のマスクと、

を備えた装置。

【請求項 7】

前記ワークピースはブラッターである、請求項 6 に記載の装置。

【請求項 8】

光源からの光を受け取りそしてその光をワークピースへ通信するための少なくとも 1 つの入力経路と、

前記ワークピースから反射された光を受け取りそしてその光を前記検出器へ通信するための少なくとも 1 つの出力経路と、

前記少なくとも 1 つの出力経路内にあって、漂遊光が前記検出器に到達するのを最小にするか又は防止するための少なくとも 1 つのマスクと、

を備えた装置。

【請求項 9】

前記ワークピースはブラッターであり、前記装置は、更に、前記出力経路からの光を前記検出器に集中させるためのレンズを備え、前記マスクは、前記レンズと前記検出器との間の虹彩である、請求項 8 に記載の装置。

【請求項 10】

ワークピースに向けられる光ビームを発生するための光源と、

前記ワークピースから反射された光を受け取るための検出器と、

前記光ビームの光学路にある 1 つ以上のレンズであって、その少なくとも 1 つに V 型の

10

20

30

40

50

A R コーティングが被覆されているようなレンズと、
を備えた装置。

【請求項 1 1】

前記ワークピースはブラッターであり、前記光ビームはレーザビームであり、そして前記レンズの前記少なくとも 1 つは、前記光源からの光を前記ブラッターに集中させ、前記装置は、更に、前記ワークピースから反射された光を収集して前記検出器に集中させるための 1 つ以上のレンズを備え、前記 V 型の A R コーティングは漂遊光を減少し又は排除する、請求項 1 0 に記載の装置。

【請求項 1 2】

ワークピースに向けられる光ビームを発生するための光源と、
前記ワークピースにより反射された光を受け取るための検出器と、
前記光ビームの光学路にある 1 つ以上のレンズであって、その少なくとも 1 つに、前記レンズに当たる光の約 0 . 2 5 % 未満しか反射しない反射防止コーティングが被覆されているようなレンズと、
を備えた装置。

【請求項 1 3】

前記ワークピースはブラッターであり、前記光ビームはレーザビームであり、そして前記レンズの前記少なくとも 1 つは、前記光源からの光を前記ブラッターに集中させ、前記装置は、更に、前記ワークピースから反射された光を収集して前記検出器に集中させるための 1 つ以上のレンズを備え、前記コーティングは漂遊光を減少し又は排除する、請求項 1 2 に記載の装置。

【請求項 1 4】

前記コーティングは、前記光ビームの波長に対して仕立てられる、請求項 1 2 に記載の装置。

【請求項 1 5】

少なくとも 1 つの入力経路を経てワークピースへ光を通信するステップと、
前記ワークピースにより反射された光を、少なくとも 1 つの出力経路を経て、検出器へ通信するステップと、
を備え、前記少なくとも 1 つの出力経路又は前記少なくとも 1 つの入力経路の少なくとも一方が、漂遊光を吸収及び / 又は捕獲するための光吸収層を含むようにした方法。

【請求項 1 6】

前記ワークピースはブラッターである、請求項 1 5 に記載の方法。

【請求項 1 7】

少なくとも 1 つの入力経路を経てワークピースへ光を通信するステップと、
前記ワークピースにより反射された光を、少なくとも 1 つの出力経路を経て、検出器へ通信するステップと、
を備え、1 つ以上のマスクが前記経路の少なくとも 1 つの中にあって、これら 1 つ以上のマスクは、前記少なくとも 1 つの前記経路における漂遊光を減少又は排除し、前記漂遊光は、前記ワークピースに欠陥が存在しなくても生じる光の成分であり、前記 1 つ以上のマスクは、前記欠陥の結果として前記少なくとも 1 つの前記経路の前記 1 つに生じる光に実質的に影響を及ぼさないようにした方法。

【請求項 1 8】

前記ワークピースはブラッターであり、前記 1 つ以上のマスクは、レーザと前記ワークピースとの間に置かれたマスクであり、前記ワークピースから反射された光を通信する前記ステップは、前記ワークピースから反射された前記光をレンズに通して検出器に集中させることを含み、前記 1 つ以上のマスクは、前記レンズと前記検出器との間に設けられた虹彩である、請求項 1 7 に記載の方法。

【請求項 1 9】

ワークピースに向けて進行するレーザビームを与えるステップと、
前記ワークピースで反射された光を検出器で検出するステップと、

10

20

30

40

50

前記光ビームの光源と前記検出器との間の光学路にある少なくとも１つのレンズに前記光ビームを通すステップであって、前記少なくとも１つのレンズにはＶ型のＡＲコーティングが被覆されるようなステップと、
を備えた方法。

【請求項 20】

前記ワークピースはプラッターであり、前記光ビームはレーザビームであり、前記方法は、更に、前記光源と前記検出器との間の光学路にある複数のレンズに前記光ビームを通すステップを備え、前記Ｖ型のＡＲコーティングは、前記少なくとも１つのレンズが 0.25%未満の反射率を示すようにさせ、前記Ｖ型のＡＲコーティングは、漂遊光を減少し又は排除する、請求項 19 に記載の方法。

10

【請求項 21】

ワークピースに向けて進行するレーザビームを与えるステップと、
前記ワークピースで反射された光を検出器で検出するステップと、
前記光ビームの光源と前記検出器との間の光学路にある少なくとも１つのレンズに前記光ビームを通すステップであって、前記少なくとも１つのレンズには、該レンズが約 0.25%未満の反射率しか示さないようにする反射防止コーティングが被覆されるようなステップと、
を備えた方法。

【請求項 22】

前記ワークピースはプラッターであり、前記光ビームはレーザビームであり、前記方法は、更に、前記光源と前記検出器との間の光学路にある複数のレンズに前記光ビームを通すステップを備え、前記反射防止コーティングは、前記光ビームの波長に対して仕立てられ、漂遊光を減少するか又は排除する、請求項 20 に記載の方法。

20

【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）を光学的に検査するための方法及び装置に係る。又、本発明は、このような装置を形成する方法にも関する。

【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。

30

【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プを形成して、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にも知られている。）

40

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、

50

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。)

【0005】

不都合なことに、ある望ましからぬ光が、光学的テスト装置により発生された出力信号にノイズを導入することがある。このような光は、ダイオードレーザによって発生されたレーザビームを取り巻く「ハロー」、レンズのような構造体から反射される望ましからぬ光、装置外部の発生源、又は他の発生源を含む多数の発生源のいずれかである。従って、

10

【課題を解決するための手段】

【0006】

本発明による光学的検査装置は、光源(通常、レーザ)からの光をワークピースに通信するための1つ以上の入力光学路と、前記ワークピースから反射された光を1つ以上の検出器に通信するための1つ以上の出力光学路とを備えている。ここで使用する「検出器」とは、光学的トランスジューサである。それらは、ワークピース表面の欠陥を検出するのに使用される。典型的に、レンズ及び/又はミラーのような光学的要素が光学路に設けられる。(他の光学的要素が光学路に設けられてもよい。)

【0007】

20

一実施形態では、光学路の少なくとも1つが、望ましからぬ漂遊光を吸収及び/又は捕獲するための層を含む。

【0008】

前記層に代わって又はそれに加えて、反射防止コーティングをレンズの1つ以上に配置して、レンズからの反射を減少することができる。これは、望ましからぬ漂遊光も減少する。

【0009】

前記層及び反射防止コーティングに代わって又はそれに加えて、漂遊光を減少又は排除するために1つ以上の光学路に1つ以上のマスクが設けられる。(ここで使用する「マスク」という語は、調整可能なアパーチャー即ち虹彩を有するマスクを含む。)

30

【0010】

一実施形態では、基板上に形成されたテクスチャーにより生じる望ましからぬ回折光を減少又は排除するために1つ以上の出力経路に1つ以上のマスクが設けられる。別の実施形態では、この装置は、個別トラック記録のためにディスクに形成されたパターンを含む非テクスチャー付きディスクを検査するのに使用される。このような実施形態では、マスクは、パターンにより生じる回折光を減少又は排除することができる。(回折光は、通常、レーザビームが基板に当たるところのスポットから発生する。これに対して、マスク、反射防止コーティング、及び/又は吸収/捕獲層は、レーザビームが基板に当たるところのスポットから発生するのではない望ましからぬ光を減少又は排除する。)

【0011】

40

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。

【0012】

ある実施形態では、ワークピースにより反射された光を受け取るための複数の出力経路がある。通常、この装置は、異なる形式の反射光を受け取るための1から6個の出力経路を備えている。

【0013】

50

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（非アルミニウム基板を使用

10

【発明を実施するための最良の形態】

【0014】

本明細書は、漂遊光（ひいては、この光で生じるノイズ）を減少するための新規な構造を含む光学的ヘッドについて以下に説明する。ヘッドの特定の実施形態を詳細に説明するが、漂遊光を減少するための前記構造は、他の形式の光学的テスト装置（例えば、上述したトレベステ許に開示されたヘッド）にも使用できる。

【0015】

20

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

30

【0016】

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。

【0017】

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。

40

【0018】

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

50

ームの中心光線とで角度 θ を形成する円錐内の散乱光を検出し、ここで、 θ 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。

【0019】

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 M 及びスピンドル S は、ステッパモータ、リニアモータ又は他の形式のモータ (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。

【0020】

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。

【0021】

II. レーザビーム 16 の光学路の詳細な説明

図 2 A 及び 2 B 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 2 B において別々に概略的に示されている。)

【0022】

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。

【0023】

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 2 A には示さないが、図 2 B 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 2 A には示されていないが、図 2 B 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。)

10

【 0 0 2 4 】

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。

20

【 0 0 2 5 】

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。

【 0 0 2 6 】

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。

30

【 0 0 2 7 】

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。

40

【 0 0 2 8 】

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 2 A 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

50

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。

【0029】

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ウ（図示せず）を使用して微調整を行うことで調整できる。

【0030】

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 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 を十分に検査するのに不十分になるからである。）

【0031】

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つの作用を組み合わせると、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 60 mm 移動することができる。

【0032】

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。

【0033】

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 1 2 内に個々に整列させる必要性を回避してヘッド 1 2 を製造する方法を発見した。又、ヘッド 1 2 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 1 A) 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 . 2 3 " であるように、ヘッド 1 2 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 1 2 のサイズが最小にされた場合に、ヘッド 1 2 の製造中に種々の装置に僅かな角度変化が生じて、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 1 2 を小さくするよう確保することで、装置 1 0 の「設置面積」を最小にすることができる。

【 0 0 3 4 】

本発明による方法を説明するために、材料のブロック 1 0 0 (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 5 A を参照する。ブロック 1 0 0 の交差部分 1 0 2 及び 1 0 3 は、光がダイオードレーザ 1 4 からミラー 5 4 及びブラッター 1 3 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 5 0 及び 5 2 を保持する表面を形成するために、柵 1 0 2 a 及び 1 0 2 b が経路 1 0 2 に残される。マスク 5 0 及び 5 2 は、部分 1 0 2 の開口 1 0 2 ' を通して落とされ、位置固定される。

【 0 0 3 5 】

図 5 B に示すように、ブロック 1 0 0 の角 1 0 4 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 5 4 をブロック 1 0 0 に適切な角度で装着できるようにされる。

【 0 0 3 6 】

部分 1 0 5 、 1 0 6 、 1 0 8 及び 1 1 0 (図 3 C 、 3 D) も、ブロック 1 0 0 からミリングされて、検出器 2 0 - 2 6 に向けて光が進むための出力経路を形成する。レンズ 6 8 、 7 6 及び 8 0 を保持するためにブロック 1 0 0 に柵が残される。任意であるが、虹彩を使用する実施形態のために、虹彩を保持する柵が経路 1 0 6 - 1 1 0 にも残される。これらの要素は、ミリングされた部分 1 0 6 、 1 0 8 、 1 1 0 の開口に適当に挿入されて、それらの関連する柵に固定される。

【 0 0 3 7 】

部分 1 1 1 、 1 1 2 及び 1 1 3 (図 3 A 、 3 B) も、ブロック 1 0 0 からミリングされて、反射レーザ光の部分 1 6 - 1 、 1 6 - 2 及び 1 6 - 3 のための経路を形成する。集光レンズ 6 2 、 7 2 及び 7 7 を保持するためにブロック 1 0 0 に柵が残される。レンズ 6 2 、 7 2 及び 7 7 は、経路 1 1 1 、 1 1 2 及び 1 1 3 の開口に挿入され、それに関連した柵に適切に固定される。更に、ガラス窓 6 4 w を保持するために部分 1 1 1 に柵 1 1 1 a が残され、そこにベDESTAL 6 4 p が添付され、そこにミラー 6 4 が装着される (図 5 C) 。 (図 5 C は、ヘッド 1 2 内にミラー 6 4 を保持する 1 つの仕方を示すに過ぎない。ミラー 6 4 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。)

【 0 0 3 8 】

最終的に、ブロック 1 0 0 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 6 6 、 7 4 及び 7 8 をブロック 1 0 0 に適切な角度で装着できるようにされる。

【 0 0 3 9 】

異なる実施形態では、ブロック 1 0 0 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。

【 0 0 4 0 】

VI . ヘッド 1 2 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 0 2 0 - 0 2 6 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 1 6 の周りに「ハロー」をしばしば放出する。又、漂遊光は、ヘッド 1 2 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

10

20

30

40

50

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Exhibit A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。

【0041】

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。

【0042】

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。

【0043】

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。

【0044】

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。)

【0045】

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に欠陥がなくと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。

【0046】

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。

【0047】

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。

【0048】

漂遊光を減少する重要性は、次のことから明らかとなる。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。

10

20

30

40

50

【 0 0 4 9 】

VII. レンズの数減少した実施形態

図 6 A は、プラッター 1 3、散乱光 1 6 - 2、集光レンズ 7 2、集中レンズ 7 6 及び検出器 2 2 を概略的に示す。(図示を容易にするために、ミラー 7 4 は図 6 A から除去されている。) レンズ 7 2 と 7 6 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 1 2 の動作に影響せずに光学距離 D 1 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 7 2 及び 7 6 が使用されるが、別の実施形態では、単一のレンズ 7 2 ' が光 1 6 - 2 を収集すると共に、光 1 6 - 2 を検出器 2 2 に集中もする (図 6 B)。同様に、光 1 6 - 3 を両レンズ 7 7 及び 8 0 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 1 6 - 1 ' を両レンズ 6 2 及び 6 8 に通さずに、単一のレンズを使用することもできる。

10

【 0 0 5 0 】

図 6 B の実施形態では、距離 D 1 ' がレンズ 7 2 ' の焦点特徴に依存する。距離 D 1 ' は、任意に選択することができない。又、レンズ 7 2 ' がレンズ 7 2 と同一である場合には、プラッター 1 3 とレンズ 7 2 ' との間の距離 D 2 が、レンズ 7 2 とプラッター 1 3 との間の対応距離 D 3 より大きくなければならない。これは、レンズ 7 2 に比してレンズ 7 2 ' の有効開口数のロス余儀なくする。

【 0 0 5 1 】

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

20

上述したように、一実施形態では、プラッター 1 3 の上面 1 3 u をテストするための単一テストヘッド 1 2 が設けられる。他の実施形態では、テストヘッド 1 2 がプラッター 1 3 の上面をテストする間にプラッター 1 3 の下面をテストするための第 2 のテストヘッド 1 2 d 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 1 2 d 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 1 2 d におけるレンズ 6 2 d の位置が、ヘッド 1 2 におけるレンズ 6 2 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 1 2 d の構造と、上部ヘッド 1 2 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 1 6 は、プラッター 1 3 の上面 1 3 u に沿って経路 1 2 2 (図 8) をトレースする (即ち、プラッター 1 3 の半径方向に) が、下部レーザビーム 1 6 d は、このような半径方向経路から距離 D 4 だけ変位された若干異なる経路 1 2 2 d をプラッター 1 3 の下面 1 3 d 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 6 2 d 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 D 4 は 4 . 7 6 3 mm であり、レンズ 6 2 d の直径及び後方焦点長さは、各々、2 5 mm 及び 2 0 . 2 mm であり、そして走査されるべき最小距離は、1 5 . 5 mm である。レンズ 6 2 d の有効直径は、2 2 mm である。レンズ 6 2 は、レンズ 6 2 d と同一である。これらの値は、単なる例示に過ぎない。)

30

【 0 0 5 2 】

図 9 及び 1 0 は、ヘッド 1 2 d 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 1 0 において、反射レーザ光の部分 1 6 - 2 d 及び 1 6 - 3 d に関連した光学的要素、及び上面 1 3 u 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 1 0 において、レーザビーム 1 6 d は、プラッター 1 3 の内径付近で表面 1 3 d 上のポイント 1 2 4 d に当たる。(ポイント 1 2 4 d は、図 1 0 では、隠されており、それ故、見えない。) レンズ 6 2 d は、ポイント 1 2 4 d から角度 θ で円錐状の光を受け取る。ポイント 1 2 4 d がプラッター 1 3 の半径 R から距離 D 4 だけ変位されていない場合には、レンズ 6 2 d がポイント 1 2 4 d から更に離れることになるので、角度 θ が減少されることが明らかであろう。レンズ 6 2 d は、スピンドル S があるので、ポイント 1 2 4 d 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 1 2 4 d を変位させることにより、角度 θ を減少させる必要がなく、それ故、レンズ 6 2 d 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 2 2 d へ与えるという利益を有する。

40

50

【 0 0 5 3 】

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 (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。

10

【 0 0 5 4 】

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。

【 0 0 5 5 】

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。

20

【 0 0 5 6 】

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」を発生するときこの変位を考慮に入れる。

【 0 0 5 7 】

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。

40

【 0 0 5 8 】

明らかなように、方向 A3 及び A4 は角度 にあり、ビーム 16" 及び 16d" は、異なる方向に進む。(角度 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。

【 0 0 5 9 】

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

50

ている。従って、図 12 の実施形態では、ヘッド 12 及び 12 d は同一でよく、ヘッド 12 d 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 64 d から一般的に離れるように進み、そして c) ビーム 16 d 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 12 d 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 16 d 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。

【0060】

図 12 は、ポイント 124、124 d 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 124 d の真上にある。更に別の実施形態では、スポット 124 及び 124 d 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 12 d は同一でよい。）

10

【0061】

方向 A3 及び A4 は角度 θ 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 θ を形成する。

【0062】

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 13 u 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 13 u 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。

20

【0063】

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 13 u 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。

30

【0064】

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氣的信号 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。

40

【0065】

50

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 I 1 - I 4 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。

【0066】

X . 回路 C 2 2、C 2 4 及び C 2 6 の説明

回路 C 2 2、C 2 4 及び C 2 6（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 15 A は、回路 C 2 2 を示す。明らかなように、検出器 22 からの出力信号 O 2 2 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 F I F O メモリ 302 に供給する。F I F O 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 F I F O 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 U S B 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、F I F O 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 C 8051 F 120 のようなデバイスであり、100 M H z 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、150 M I P S で動作できるテキサスインスツルメンツ T M S 320 F 2812 でもよい。

【0067】

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 C 20、C 24 及び C 26 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。

【0068】

一実施形態では、信号 O 22 のデジタル値は、信号 O 22 がスレッシュホールド信号 T H R を越えるときだけ F I F O 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 F I F O 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 C 22 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 15 A に見られるように、F I F O メモリ 302 の書き込みデータイネーブル信号 D E N がアナログ回路 316 により与えられる。信号 D E N は、検出器 22 からの信号 O 22 がスレッシュホールド信号 T H R を越えるときだけアクティブとなる。従って、信号 O 22 が信号 T H R を越えるときだけ F I F O メモリ 302 にデータが記憶される。

【0069】

信号 T H R 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 T H R の大きさを制御する。信号 T H R 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 T H R 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 O 22 に存在する測定されたノイズに応答して信号 T H R の値を確立する。

【0070】

通常、信号 O 22 - O 26 がそれらの関連スレッシュホールド値 T H R 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 13 u の状態で信号 O 22 がスレッシュホールド

ド信号 T H R 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 1 3 u 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 1 3 u 上の位置を識別する)をプロセッサ 3 0 6 へ供給することにより行われる。一実施形態では、信号 O 2 2 が信号 T H R を越え始めたところの表面 1 3 u 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 O 2 2 が信号 T H R より下がるところの表面 1 3 u 上の終了位置を指示する回路が設けられる。

【0071】

図 1 5 B は、開始及び停止アドレスを与えるアドレス回路 4 0 0 を示す。この回路 4 0 0 は、スピンドルインデックス入力リード 4 0 2 と、サンプルクロック入力リード 4 0 4 とを含む。スピンドルインデックス入力リードは、プлатター 1 3 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 4 0 6 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 4 0 8 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 1 6 により現在走査されるトラックの番号である。

10

【0072】

第 2 のカウンタ 4 1 0 は、サンプルクロック入力リード 4 0 4 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латターの回転当たり 2 4 9 8 5 6 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 4 1 2 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латターの回転当たり 5 1 2 個のパルスを与える。クロック回路 4 1 4 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 4 1 0 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 4 1 8 に発生する。

20

【0073】

トラック及びセクターアドレスは、信号 A E N に応答して F I F O メモリ 4 2 0 及び 4 2 2 に各々記憶される。(信号 A E N は、信号 O 2 2 が最初にスレッシュホールド T H R を越えたとき、及び信号 O 2 2 がスレッシュホールド T H R より下がったときにも、アクティブになる。従って、信号 A E N は、表面 1 3 u 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 3 0 4 は、F I F O メモリ 4 2 0 及び 4 2 2 からバス 4 2 4 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 3 0 4 によりインターフェイス回路 3 0 8 及び 3 1 0 を経てプロセッサ 3 0 6 へ供給される。

30

【0074】

上述したように、個別のカウンタ 4 0 6 及び 4 1 0 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、 $Q \bmod N$ 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 F I F O 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。)

40

【0075】

上述したように、アナログ形態の信号 O 2 2 は、スレッシュホールド信号 T H R と比較される。しかしながら、別の実施形態では、信号 O 2 2 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 T H R もデジタル値の形態である。デジタル化信号 O 2 2 がこのデジタルスレッシュホールド T H R 値と比較され、信号 A E N 及び D E N を発生する。

50

【 0 0 7 6 】

ある実施形態では、信号 T H R は、マイクロプロセッサ 3 0 4 により変更できるが、他の実施形態では、信号 T H R を変更することができない。

【 0 0 7 7 】

上述した実施形態は、信号 O 2 2 が信号 T H R を越えたときに種々の F I F O メモリに情報を通すが、ある実施形態では、信号 O 2 2 が上位スレッシュホールド値未満であるときだけ F I F O メモリに情報が通される。更に別の実施形態では、信号 O 2 2 が信号 T H R 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 F I F O メモリに通される。更に別の実施形態では、信号 O 2 2 が信号 T H R (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 F I F O メモリに通される。

【 0 0 7 8 】

上述したように、回路 C 2 0 (4 重検出器 2 0 からの出力信号を処理する) は、出力信号 S 2 0 2 及び S 2 0 5 (レーザビーム 1 6 の部分 1 6 - 1 " の垂直及び水平偏向に対応する) と、信号 S 2 0 7 (部分 1 6 - 1 " 内の全パワー量に対応する) とを与える。信号 S 2 0 2 及び S 2 0 5 は、増幅器を経て、回路 C 2 2 の 2 つの繰り返し (1 つは信号 S 2 0 2 用、及び 1 つは信号 S 2 0 5 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 3 0 4 及びプロセッサ 3 0 6 へ通される。

【 0 0 7 9 】

信号 S 2 0 7 は、信号 S 2 0 2 又は S 2 0 5 がデジタル値に変換されて F I F O メモリに記憶され、これがマイクロプロセッサ 3 0 4 により非同期で読み取られてプロセッサ 3 0 6 へ通されるときに、回路 C 2 0 のマイクロプロセッサ 3 0 4 及びプロセッサ 3 0 6 に通される。このようにして、信号 S 2 0 2 及び S 2 0 5 は、プロセッサ 3 0 6 により正規化することができる。

【 0 0 8 0 】

X I . 回路 C 2 2 - C 2 4 の実施形態の詳細な説明

図 1 6 A 及び 1 6 B は、図 1 5 A 及び 1 5 B の構造を詳細に示している。図 1 6 A 及び 1 6 B において、W R c l k、W r e n、W R P r t、R D c l k、R d e n 及び R D P r t 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 C I R は、カウンタ 4 0 6 及び 4 1 0 をリセットする。入力 D i n は、カウンタ 4 0 6 及び 4 1 0 を増加する。信号 S C L K は、クロック回路 4 1 4 から発生される。図 1 6 C は、信号 D E N 及び A E N 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 4 2 6 を示す。この回路 4 2 6 は、アナログ / デジタルコンバータ 3 0 0 が、通常、クロック信号 S C L K 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 4 2 6 は、このパイプライン遅延が与えられると、F I F O メモリの適切なロードを促進する。図 1 6 C に示すように、一実施形態では、回路 4 2 6 は、信号 D E N 及び A E N を発生する直列接続された D 型フリップフロップ 4 2 7 のネットワークを備え、これら信号は、信号 O 2 2 が、ある時間中に、スレッシュホールド信号 T H R 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 D E N は、F I F O メモリ 3 0 2 へのデータの書き込みをイネーブルする。信号 A E N は、F I F O メモリ 4 0 6 及び 4 1 0 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 4 2 7 の各々は、クロック信号 S C L K の関連パルス数だけ遅延された比較器 3 1 6 の出力信号を記憶する。回路 4 2 6 は、2 つのゲート信号を発生し、その 1 つは、信号 D E N を発生するためのもので、もう 1 つは、信号 A E N を発生するためのものである。信号 D E N 及び A E N のタイミングは、比較器 3 1 6 の出力信号、及び信号 S C L K を構成するパルス列から発生される。特に、信号 D E N 及び A E N は、フリップフロップ 4 2 7 の選択された状態に基づく。(例えば、信号 D E N は、クロック信号 S C L K の 4 つのパルスだけ遅延された比較器 3 1 6 の出力である。信号 A E N は、信号 D E N の立ち上り縁の 1 つのパルスと、信号 D E N 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。

【0081】

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 10
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。

【0082】

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 20
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。

【0083】

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。

【0084】

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 30
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。

【0085】

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。 40

【0086】

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 50

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 5 1 4 a の作動と、カセット 5 1 2 a の交換との間の時間中には、ロボットアーム 5 0 6 が、カセット 5 1 2 a に入れられるプラッターを容器 5 0 8 に入れる。このようにして、カセット 5 1 2 a がいっぱいである間に、セル 5 0 0 をオフにする必要がない。

【0087】

重要なことに、カセット 5 1 2 a は、引き出し 5 1 5 a 内にある。カセット 5 1 2 a がいっぱいになると、操作要員が引き出し 5 1 5 a を開いてカセット 5 1 2 a をエンクロージャー 5 1 3 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 5 1 2 a を交換することができる。従って、カセット 5 1 2 a を交換するときにエンクロージャー 5 1 3 を開く必要はない。これは、カセット 5 1 2 a を交換するのに要する時間を短縮し、特に、カセット 5 1 2 a を交換するときにセル 5 0 0 の遮断を不必要にするのを促進する。(任意のカセット 5 1 2 b 及び 5 1 2 c が引き出し 5 1 5 b、5 1 5 c に同様に配置され、そして同様にエンクロージャー 5 1 3 から取り出される。アラーム 5 1 4 b、5 1 4 c (アラーム 5 1 4 a と同様の) は、カセット 5 1 2 b、5 1 2 c 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 5 1 2 b、5 1 2 c 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 5 1 2 b、5 1 2 c に蓄積されるプラッターは、容器 5 0 8 に入れられる。)

10

【0088】

典型的に、カセット 5 1 2 a 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 5 0 8 に入れることは、それほど重大ではなく、カセット 5 1 2 a の交換を待機する間にセル 5 0 0 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 5 1 2 a に入れられないからである。

20

【0089】

一実施形態では、セル 5 0 0 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。

【0090】

セル 5 0 0 は、エンクロージャー 5 1 3 内に容器 5 0 8 を含むが、別の実施形態では、容器 5 0 8 がエンクロージャー 5 1 3 の外部にあり、エンクロージャー 5 1 3 の内部から容器 5 0 8 へシュート (図示せず) が延びている。ロボットアーム 5 0 5 は、プラッターをシュートに落とし、それらは容器 5 0 8 へ落とされる。これは、容器 5 0 8 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。

30

【0091】

図 1 7 B は、カセット 5 1 6 がコンベア 5 1 8 に設けられたセル 5 0 0 ' の別の実施形態を示す。カセット 5 1 6 は、セル 5 0 0 ' 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 5 1 6 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 5 1 8 は、エンクロージャー 5 1 3 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。

40

【0092】

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。

【0093】

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 1 4、1 4 d を備え、その 1 つは上部ヘッド 1 2 用、そしてもう 1 つは下部ヘッド 1 2

50

d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也可以使用できる。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。

【0094】

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。

10

【図面の簡単な説明】

【0095】

【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。

20

【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ブ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。

30

【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ブ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ブ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ブ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】ブ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。

40

【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】レーザがブ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ブ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

50

回路を示す回路図である。

【図 1 5 B】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 1 6 A】図 1 5 A 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 1 6 B】図 1 5 B 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 1 6 C】図 1 6 A 及び 1 6 B の回路に関連して使用できる論理回路を示す図である。

【図 1 7 A】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 1 7 B】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】

10

【 0 0 9 6 】

1 0 : 光学的検査装置

1 2、1 2 d : テストヘッド

1 3 : ワークピース (プラッター)

1 3 u : ワークピースの上面

1 3 d : ワークピースの下面

1 4 : レーザソース

1 6、1 6 d : レーザビーム

2 0 : 偏向検出器

2 2 : 狭角度散乱検出器

20

2 4 : 広角度散乱検出器

2 6 : 後方散乱検出器

M : スピンドルモータ

S : スピンドル

A 1、A 2、A 3、A 4 : 方向

S 1、S 2 : スクラッチ

5 0、5 2 : スリットマスク

5 4 : ミラー

5 6 : 光学要素

5 6 a : ガラスプレート

30

5 6 b : 円偏光板

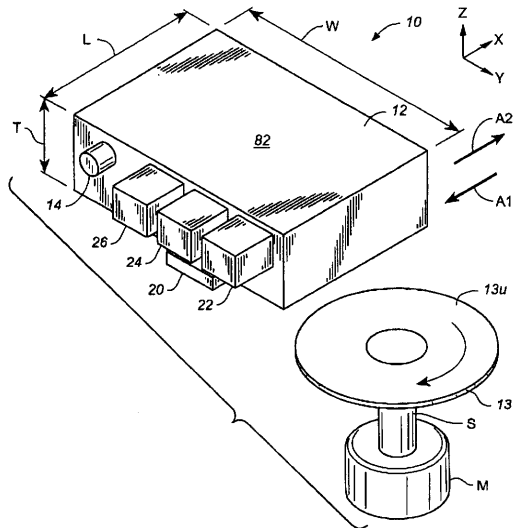
5 6 c : 円筒状レンズ

5 8 : 集束レンズ

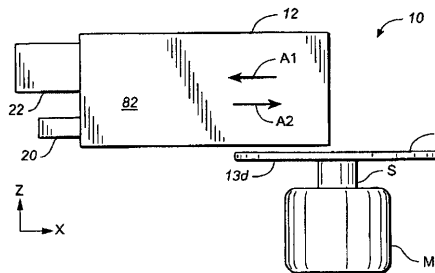
6 2 : 集光レンズ

8 2 : エンクロージャー

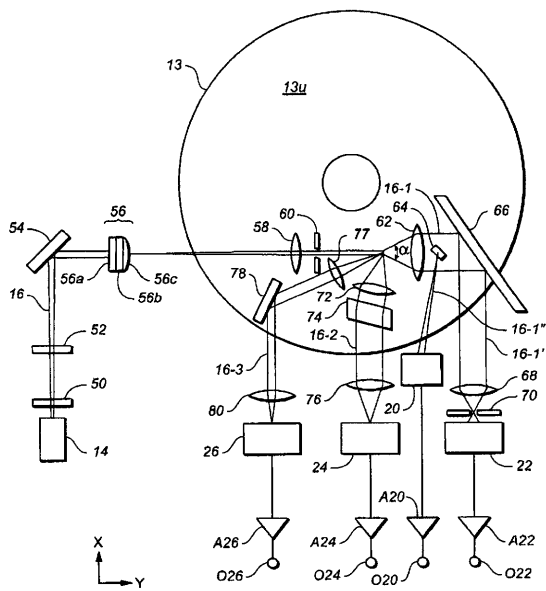
【図 1 A】



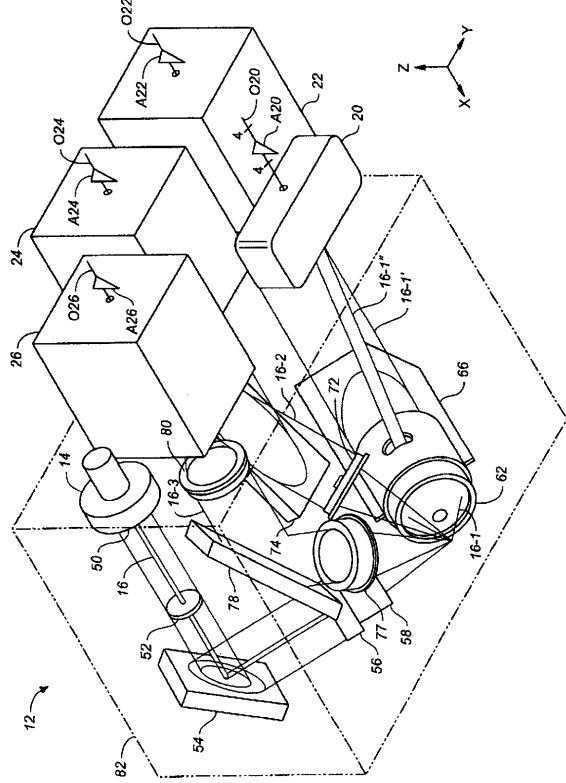
【図 1 B】



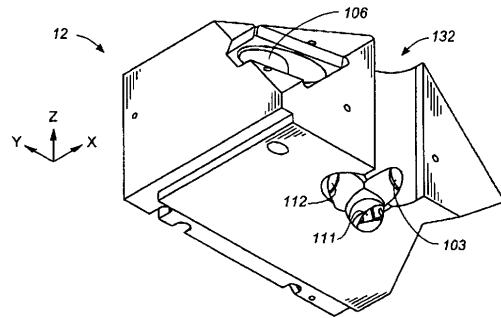
【図 2 B】



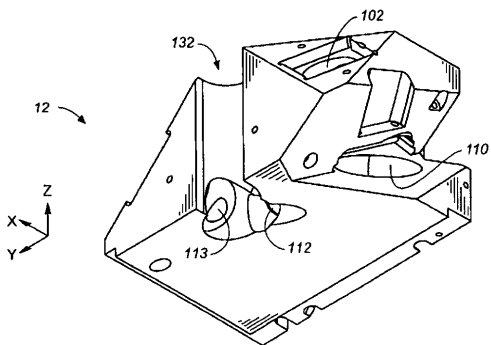
【図 2 A】



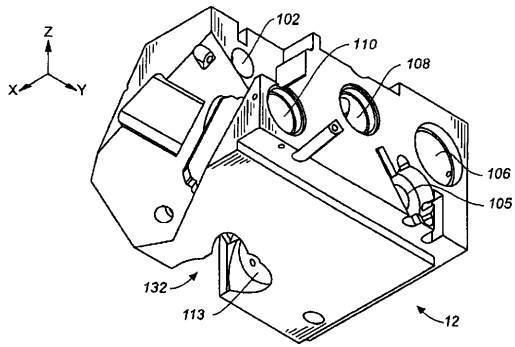
【図 3 A】



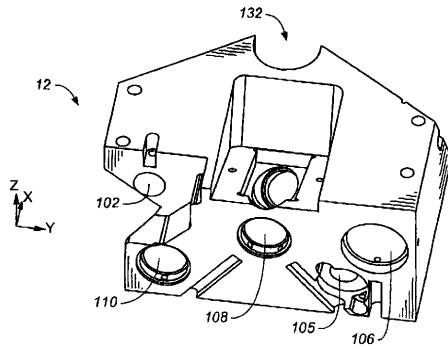
【図 3 B】



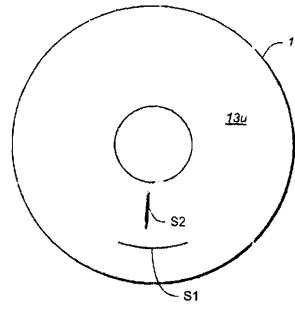
【図 3 C】



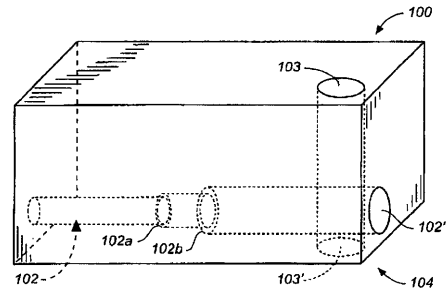
【図 3 D】



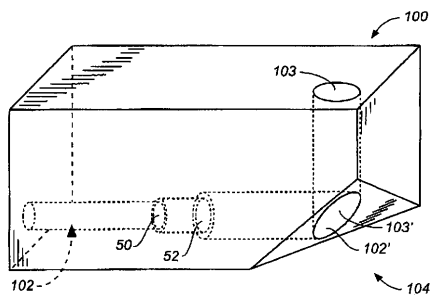
【図 4】



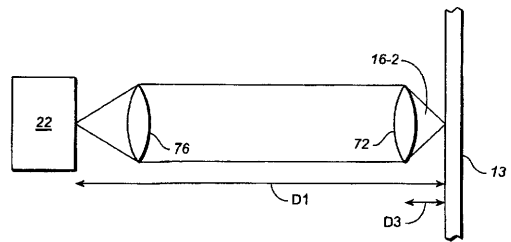
【図 5 A】



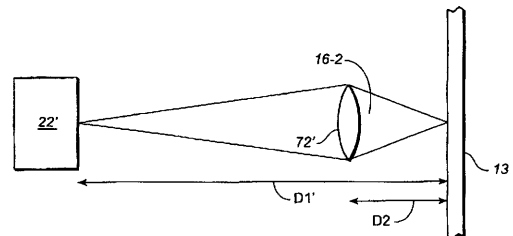
【図 5 B】



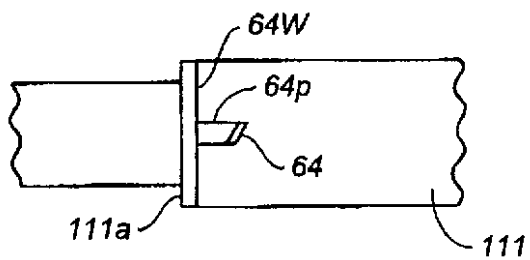
【図 6 A】



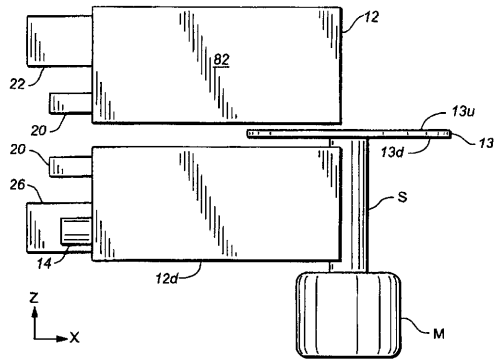
【図 6 B】



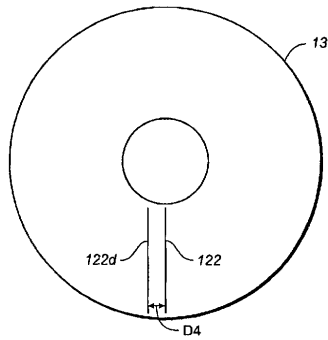
【図 5 C】



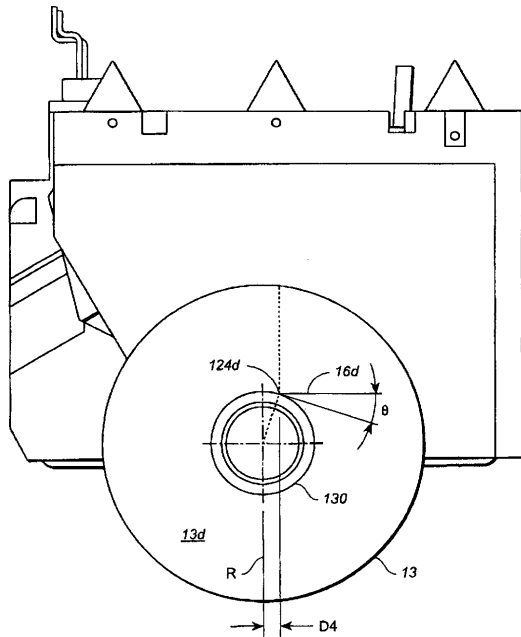
【図 7】



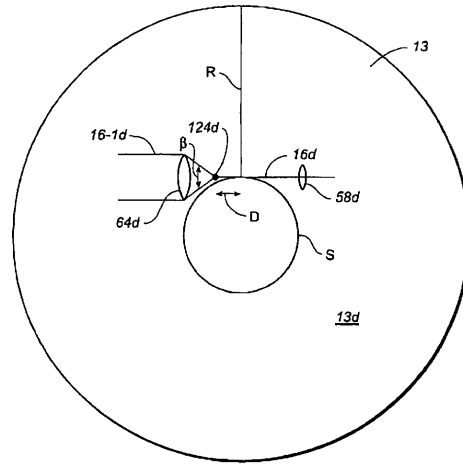
【図 8】



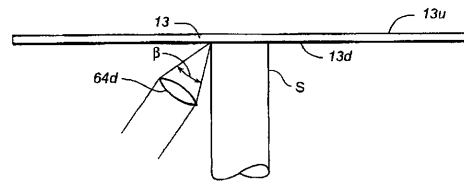
【図 11】



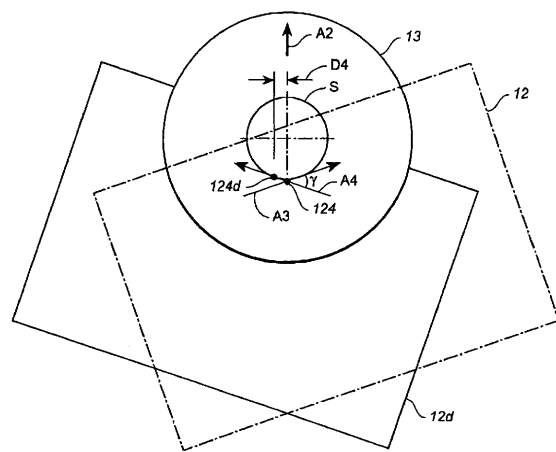
【図 9】



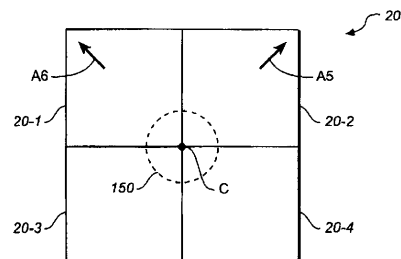
【図 10】



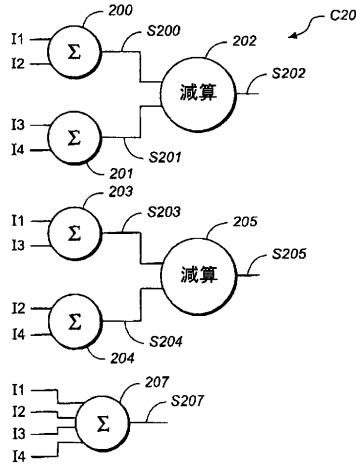
【図 12】



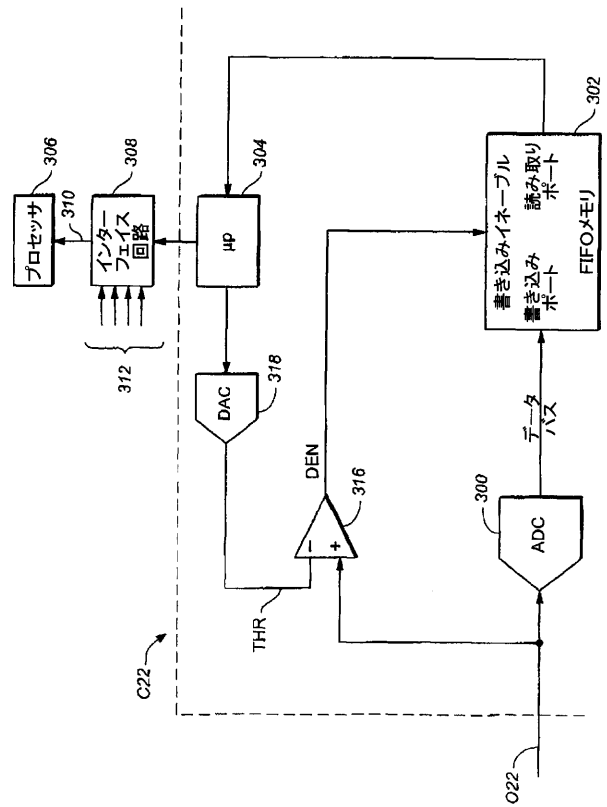
【図 13】



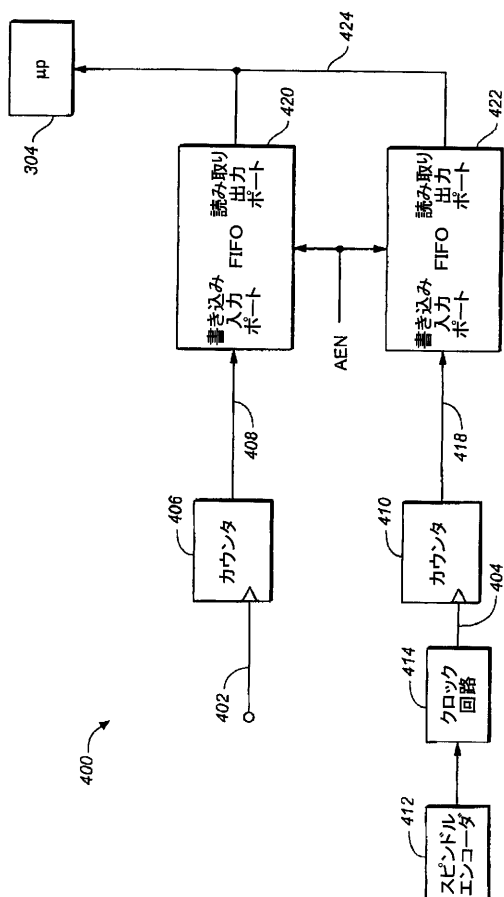
【図14】



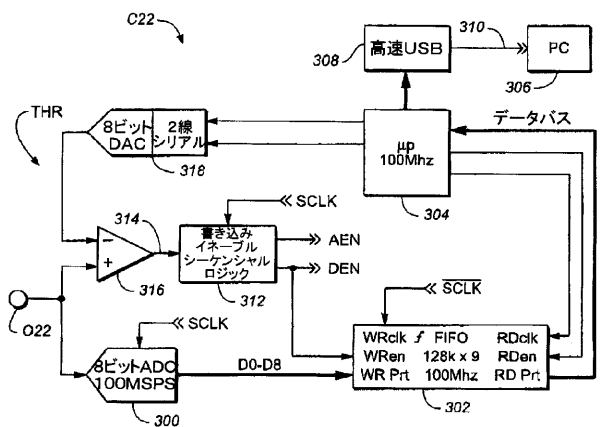
【図15A】



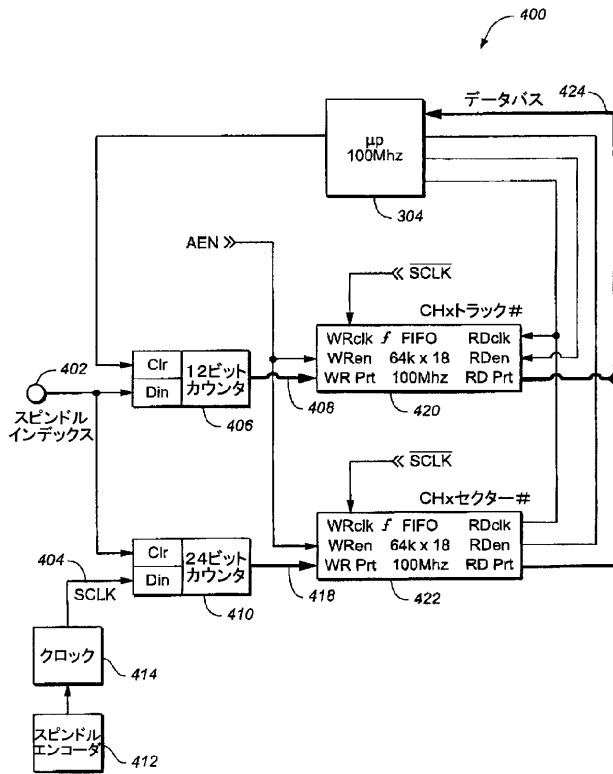
【図15B】



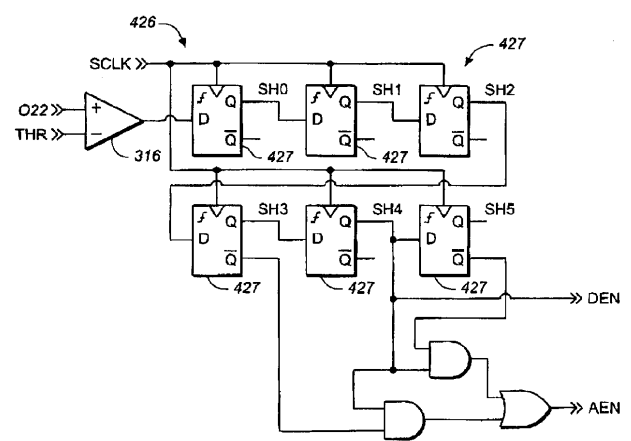
【図16A】



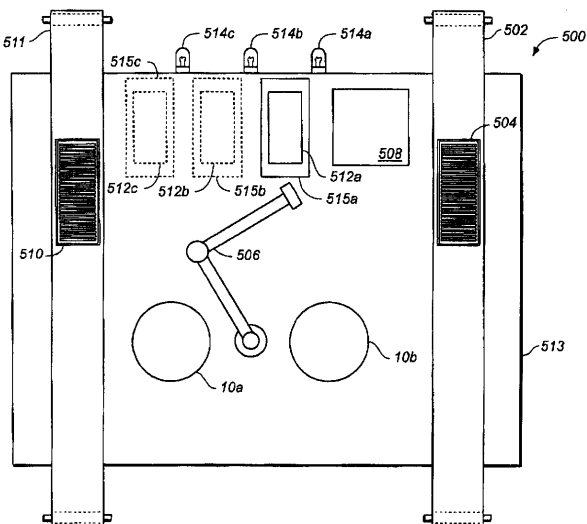
【図 16 B】



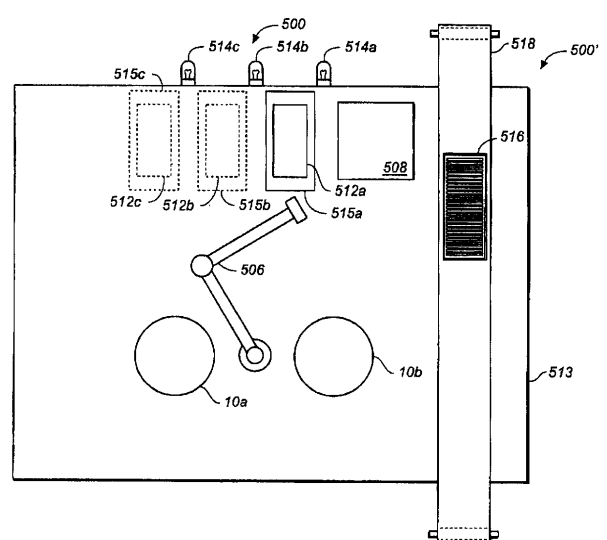
【図 16 C】



【図 17 A】



【図 17 B】



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 9 4 3 0 6 パロ アルト ファーン アベニュー 4 7 9

(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 9 5 0 0 8 キャンベルバッド アベニュー 1 6 2

F ターム(参考) 2F065 AA49 BB02 BB03 BB16 CC03 DD04 FF41 GG06 GG22 HH04

HH05 HH08 HH12 JJ05 JJ08 JJ17 JJ18 LL04 LL08 LL12

LL28 LL30 LL33 LL36 LL62 MM07 MM16 PP02 PP13

2G051 AA71 AB02 BA10 BA11 CA01 CA07 CB01 DA08 EA23

5D112 AA24 JJ03

【 外 国 語 明 細 書 】

METHOD AND APPARATUS FOR REDUCING OR ELIMINATING
STRAY LIGHT IN AN OPTICAL TEST HEAD

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 optically inspecting workpieces such as substrates used to make magnetic disks or magnetic disks during any point in the manufacturing process (including the finished disk). This invention also pertains to methods for making such apparatus.

[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 lasers to scan 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.)

[0005] Unfortunately, certain undesired light can introduce noise into output signals generated by optical test apparatus. The such light can have any of several sources, including a “halo” surrounding a laser beam generated by a diode laser; undesired light reflected off of structures such as lenses; sources external to the apparatus; or other sources. It would be desirable to reduce or eliminate such undesired light.

Summary

[0006] An optical inspection apparatus in accordance with the invention comprises one or more input optical paths for communicating light from a light source (typically a laser) to a workpiece and one or more output optical paths for communicating light reflected off of said workpiece to one or more detectors. As used herein, “detectors” are optical transducers. They are used to detect defects on the workpiece

surface. Typically, optical elements such as lenses and/or mirrors are provided in the optical paths. (Other optical elements can also be provided in the optical paths.)

[0007] In one embodiment, at least one of the optical paths includes a layer for absorbing and/or trapping undesired stray light.

[0008] In lieu of or addition to the above-mentioned layer, an anti-reflective coating can be placed on one or more of the lenses to reduce reflection off of the lens. This also reduces undesired stray light.

[0009] In lieu of or in addition to the above-mentioned layer and antireflective coating, one or more masks are provided in one or more of the optical paths for reducing or eliminating stray light. (As used herein, the term “mask” includes a mask having an adjustable aperture, i.e. an iris.)

[0010] In one embodiment, one or more masks are provided in one or more output paths to reduce or eliminate unwanted diffracted light caused by the texture formed on the substrate. In another embodiment, the apparatus is used to inspect an untextured disk comprising a pattern formed on the disk for discrete track recording. In such an embodiment the masks can reduce or eliminate diffracted light caused by the pattern. (The diffracted light typically emanates from the spot where the laser beam strikes the substrate. In contrast, the masks, antireflective coating and absorbing/trapping layer reduce or eliminate undesired light that does not emanate from the spot where the laser beam strikes the substrate.)

[0011] 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 surface for the presence of defects; evaluating the surface; collecting data concerning the

surface of the workpiece; and/or determining whether the surface is suitable based on one or more criteria. "Workpiece" includes any object to be inspected.

[0012] In some embodiments, there is a plurality of output paths for receiving light reflected by the workpiece. Typically, the apparatus comprises between one and six output paths for receiving different types of reflected light.

[0013] 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, disks made using deposition processes other than sputtering, disks used in conjunction with vertical recording, disks used in conjunction with longitudinal recording, textured disks and untextured disks).

Brief Description of the Drawings

[0014] 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.

[0015] 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.

[0016] Figs. 3A to 3D are perspective views of a monolithic block of material forming the optical inspection head of Figs. 1 and 2.

[0017] Fig. 4 illustrates a platter having a surface with two scratches thereon.

[0018] Figs. 5A and 5B illustrate a block of material during a portion of a manufacturing process in accordance with the invention.

[0019] Fig. 5C illustrates a structure for mounting a mirror in one of the optical paths.

[0020] Fig. 6A schematically shows the optical path between a platter and an optical detector comprising two lenses for collecting and concentrating light.

[0021] Fig. 6B schematically shows the optical path between a platter and an optical detector comprising one lens that both collects and concentrates light.

[0022] Fig. 7 illustrates two optical heads inspecting upper and lower platter surfaces in accordance with an alternative embodiment of the invention.

[0023] Fig. 8 illustrates paths traced by upper and lower laser beams on a platter.

- [0024] Figs. 9 and 10 illustrate the placement of lenses in a lower test head in accordance with the invention.
- [0025] Fig. 11 illustrates the point on an innermost track where a laser strikes a platter.
- [0026] Fig. 12 illustrates the juxtaposition of the upper and lower heads and the platter in plan view.
- [0027] Fig. 13 schematically illustrates in plan view a quad detector for detecting specularly reflected laser light within an embodiment of the optical inspection head.
- [0028] Fig. 14 schematically illustrates a circuit for processing output signals from the quad detector of Fig. 13.
- [0029] Fig. 15A schematically illustrates a circuit for providing selected data corresponding to the output signals of optical detectors to a processing device.
- [0030] Fig. 15B schematically illustrates a circuit for providing selected location information to the processing device.
- [0031] Fig. 16A and 16B schematically shows circuitry details that can be used in the circuits of Figs. 15A and 15B.
- [0032] Fig. 16C illustrates a logic circuit that can be used in conjunction with the circuit of Figs. 16A and 16B
- [0033] 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

[0034] The specification below describes an optical head comprising novel structures for reducing stray light (and thus the noise that this light would otherwise cause). Although specific embodiments of the head are discussed in great detail, the above-mentioned structures for reducing stray light can be employed in other types of optical test apparatus (e.g. heads as discussed in the above-mentioned Treves patents).

I. Overview of Optical Inspection Apparatus 10

[0035] 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 and 1B 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.

[0036] 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.

[0037] 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 8 μ m in the azimuthal direction of platter 13, and 25 to 30 μ m in the radial direction of platter 13. The laser can be linearly polarized, circularly polarized or randomly polarized.

[0038] 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 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.

[0039] 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.

[0040] 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

[0041] 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.)

[0042] 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.

[0043] 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.)

[0044] 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).

[0045] 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.

[0046] 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.

[0047] 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.

[0048] 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.

[0049] 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

[0050] 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.)

[0051] 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

[0052] 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

[0053] 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.

[0054] 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.

[0055] 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.

[0056] 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.

[0057] 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.)

[0058] 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.

[0059] 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

[0060] 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.

[0061] 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.

[0062] 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%.

[0063] 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.

[0064] 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.)

[0065] 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.

[0066] 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.

[0067] 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.

[0068] 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.

VII. Embodiment with Reduced Number of Lenses

[0069] 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.

[0070] 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

[0071] 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.)

[0072] 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.

[0073] 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.

[0074] 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.

[0075] 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.

[0076] 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

[0077] 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.

[0078] 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.

[0079] 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.

[0080] 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.)

[0081] 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

[0082] 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.

[0083] 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.

[0084] 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.

[0085] 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

[0086] 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.

[0087] 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.

[0088] 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.

[0089] 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.

[0090] 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.

[0091] 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.

[0092] 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.

[0093] 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.

[0094] 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 $Q \bmod N$, 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 .)

[0095] 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.

[0096] Although in some embodiments, signal THR can be changed by microprocessor 304, in other embodiments, signal THR cannot be changed.

[0097] 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.

[0098] 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.

[0099] 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

[0100] 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 output 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

[0101] 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.

[0102] 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.

[0103] 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.

[0104] 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.

[0105] 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.

[0106] 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.

[0107] 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.)

[0108] 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.

[0109] In one embodiment, cell 500 is controlled by a control circuit such as a microprocessor or a microcontroller (not shown).

[0110] 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.

[0111] 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.

[0112] 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.

[0113] 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.

[0114] 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. Apparatus comprising:
 - at least one input path for receiving light from a light source and communicating said light to a workpiece;
 - a light detector for receiving light and generating a signal in response thereto;
 - at least one output path for receiving light reflected from said workpiece and communicating said light to said detector;
 - wherein at least one of said at least one output path or at least one input path includes a light-absorptive layer for absorbing and/or trapping stray light.
2. Apparatus of claim 1, wherein said apparatus comprises a monolithic block of material, said input and output paths extending through said block of material to communicate light, said light absorptive layer being provided in at least one of said paths.
3. Apparatus of claim 2 further comprising a tube within one of said paths, said tube comprising said light absorptive layer.
4. Apparatus of claim 2 wherein said light absorptive layer is formed by anodizing said material.
5. Apparatus of claim 1 wherein said workpiece is a platter.
6. Apparatus comprising:

at least one input path for receiving light from a light source and communicating said light to a workpiece;

at least one output path for receiving light reflected from said workpiece and communicating said light to a detector; and

one or more masks within at least one of said paths for reducing or eliminating stray light in said at least one of said paths, said stray light being a component of light that would exist even in the absence of defects on said workpiece, said one or more masks not substantially affecting light that exists in said one of said at least one of said paths as a result of said defects.

7. Apparatus of claim 6 wherein said workpiece is a platter.

8. Apparatus comprising:

at least one input path for receiving light from a light source and communicating said light to a workpiece;

at least one output path for receiving light reflected from said workpiece and communicating said light to a detector; and

at least one mask within said at least one output path for minimizing or preventing light stray light from reaching said detector.

9. Apparatus of claim 8 wherein said workpiece is a platter, said apparatus further comprising a lens for concentrating light from said output path onto said detector, said mask being an iris between said lens and said detector.

10. Apparatus comprising:

a light source for generating a light beam, said light beam being directed toward a workpiece;

a detector for receiving light reflected from said workpiece; and

one or more lenses in the optical path of said light beam, at least one of said lenses being coated with a V-type AR coating.

11. Apparatus of claim 10 wherein said workpiece is a platter, said light beam is a laser beam, and said at least one of said lenses concentrates light from said light source onto said platter, said apparatus further comprising one or more lenses for collecting and concentrating light reflected from said workpiece onto said detector, said V-type AR coating reducing or eliminating stray light.

12. Apparatus comprising:

a light source for generating a light beam, said light beam being directed toward a workpiece;

a detector for receiving light reflected by said workpiece; and

one or more lenses in the optical path of said light beam, at least one of said lenses being coated with an antireflection coating that reflects less than about 0.25% of the light striking said lens.

13. Apparatus of claim 12 wherein said workpiece is a platter, said light beam is a laser beam, and said at least one of said lenses concentrates light from said light source onto said platter, said apparatus further comprising one or more lenses for collecting and concentrating light reflected from said workpiece onto said detector, said coating reducing or eliminating stray light.

14. Apparatus of claim 12 wherein said coating is tailored to the wavelength of said light beam.

15. Method comprising:

communicating light through at least one input path to a workpiece;

communicating light reflected by said workpiece through at least one output path to a detector;

wherein at least one of said at least one output path or at least one input path includes a light-absorptive layer for absorbing and/or trapping stray light.

16. Method of claim 15 wherein said workpiece is a platter.

17. Method comprising:

communicating light through at least one input path to a workpiece;

communicating light reflected from said workpiece through at least one output path to a detector;

wherein one or more masks are within at least one of said paths, said one or more masks reducing or eliminating stray light in said at least one of said paths, said stray light being a component of light that would exist even in the absence of defects on said workpiece, said one or more masks not substantially affecting light that exists in said one of said at least one of said paths as a result of said defects.

18. Method of claim 17 wherein said workpiece is a platter, said one or more masks is a mask situated between a laser and said workpiece, and said communicating light reflected from said workpiece comprises passing said light reflected from said workpiece through a lens to concentrate said light onto a detector, said one or more masks being an iris provided between said lens and said detector.

19. Method comprising:

providing a light beam traveling toward a workpiece;

detecting light reflecting off of said workpiece with a detector; and

passing said light beam through at least one lens in the optical path between a source of said light beam and said detector, said at least one lens being coated with a V-type AR coating.

20. Method of claim 19 wherein said workpiece is a platter and said light beam is a laser beam, said method further comprising passing said light beam through a plurality of lenses in the optical path between said source and said detector, said V-type AR coating

causing said at least one lens to exhibit a reflectivity less than 0.25%, said V-type AR coating reducing or eliminating stray light.

21. Method comprising:

providing a light beam traveling toward a workpiece;

detecting light reflecting off of said workpiece with a detector;

passing said light beam through at least one lens in the optical path between a source of said light beam and said detector, said at least one lens being coated with an antireflective coating that causes the lens to exhibit a reflectivity less than about 0.25%.

22. Method of claim 20 wherein said workpiece is a planar and said light beam is a laser beam, said method further comprising passing said light beam through a plurality of lenses in the optical path between said source and said detector, said antireflective coating being tailored to the wavelength of said light beam and reducing or eliminating stray light.

Abstract

An optical test head comprises one or more optical input paths by which a beam of light is communicated from a light source to a workpiece and one or more optical output paths by which light reflected off of the workpiece is communicated to a detector. The input optical path and the output optical path can include one or more mirrors and one or more lenses. At least one of the optical paths includes a layer for trapping and/or absorbing stray light. One or more of the lenses includes an anti-reflective coating for reducing noise caused by unwanted light reflection off of the lenses. The optical paths include one or more masks reducing stray light. The one or more masks can have an adjustable aperture (e.g. an iris).

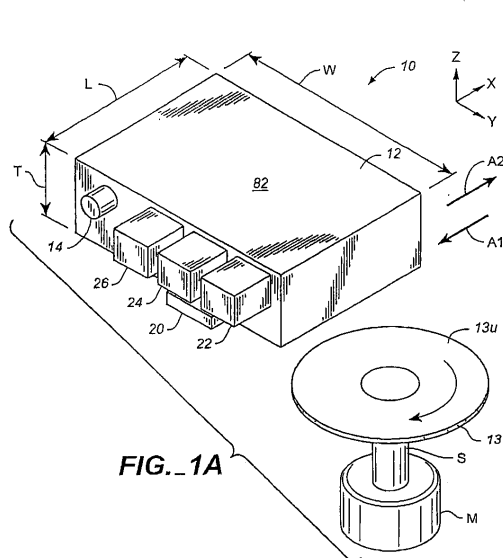


FIG. 1A

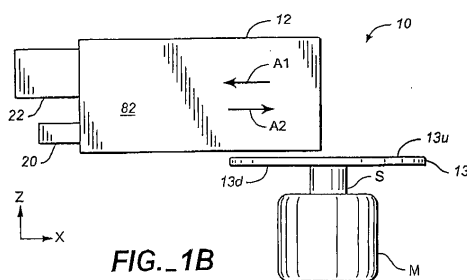


FIG. 1B

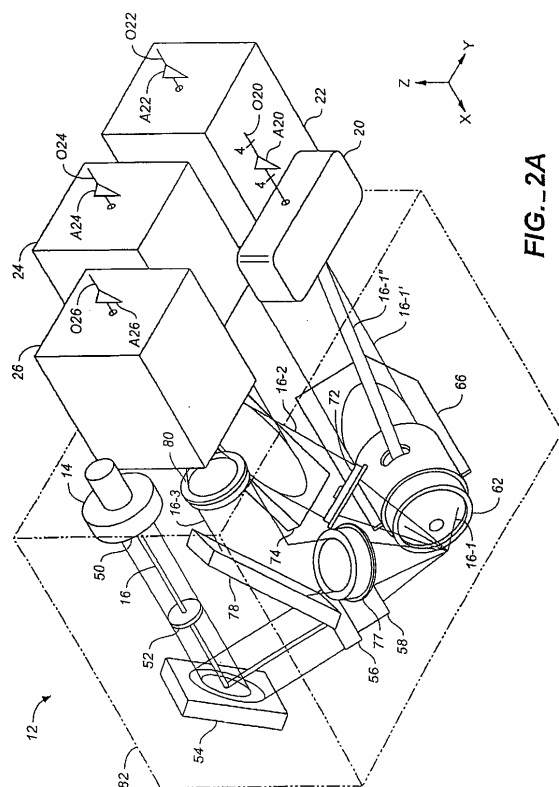


FIG. 2A

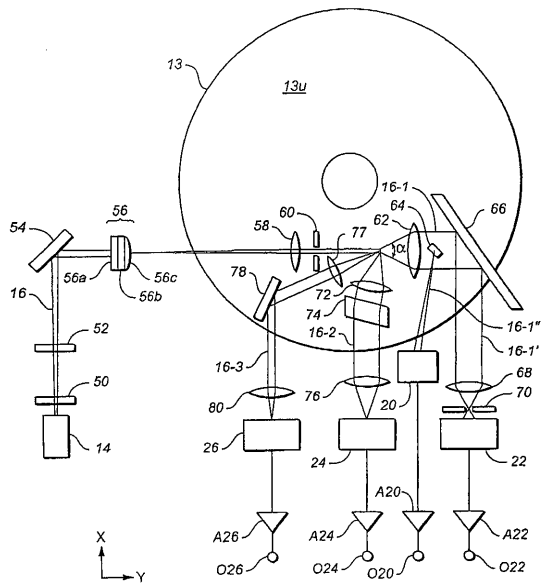


FIG. 2B

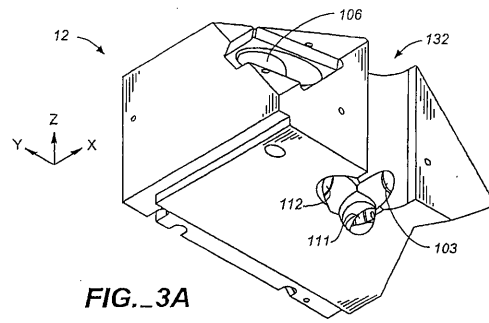


FIG. 3A

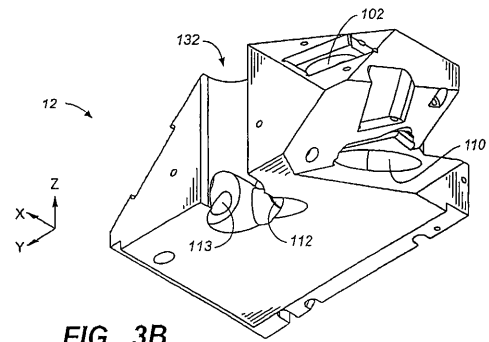


FIG. 3B

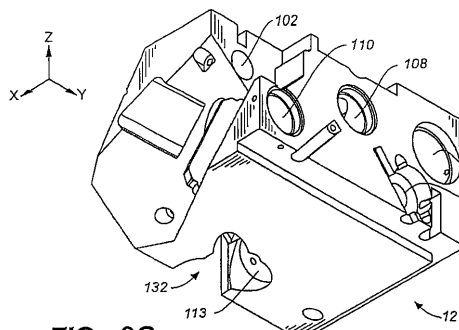


FIG. 3C

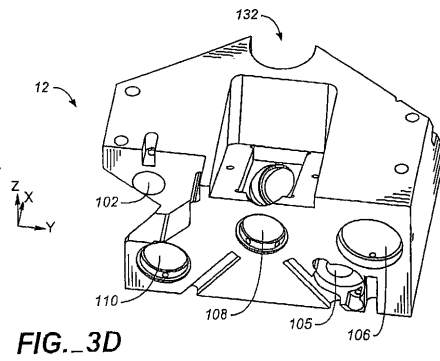


FIG. 3D

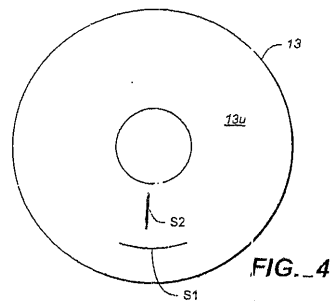
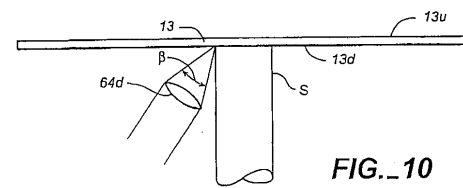
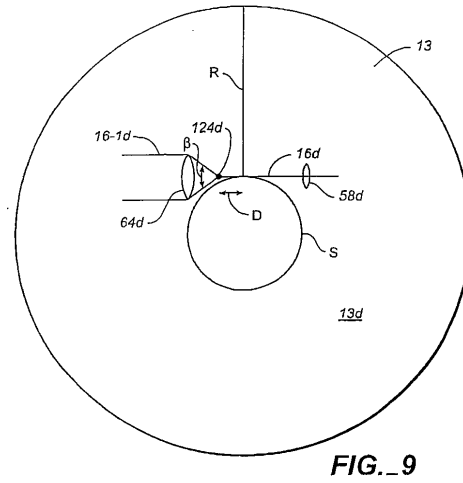
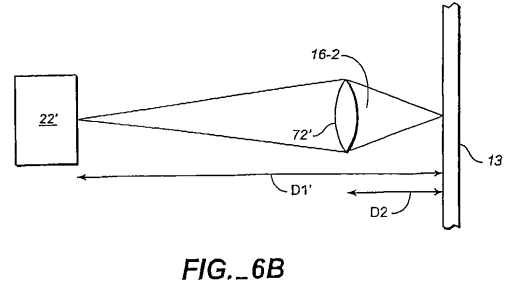
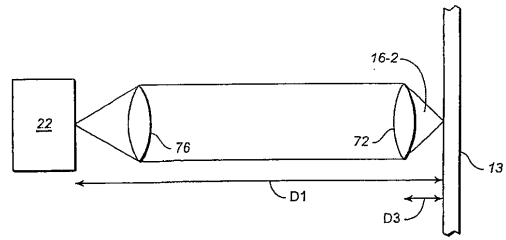
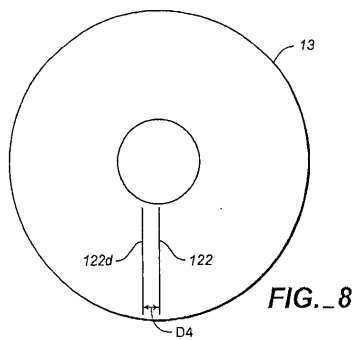
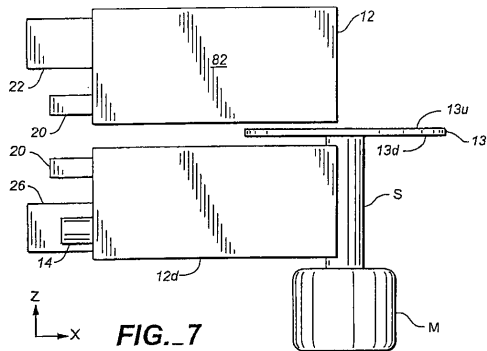
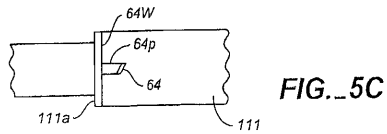
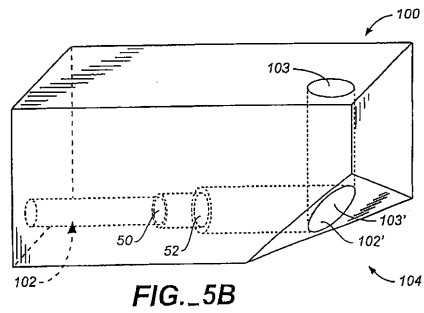
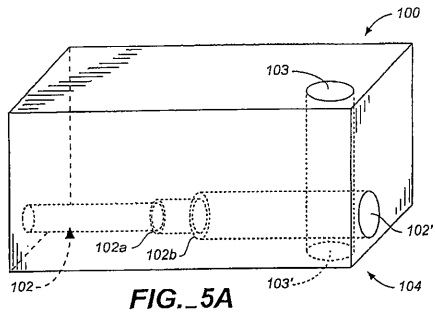


FIG. 4



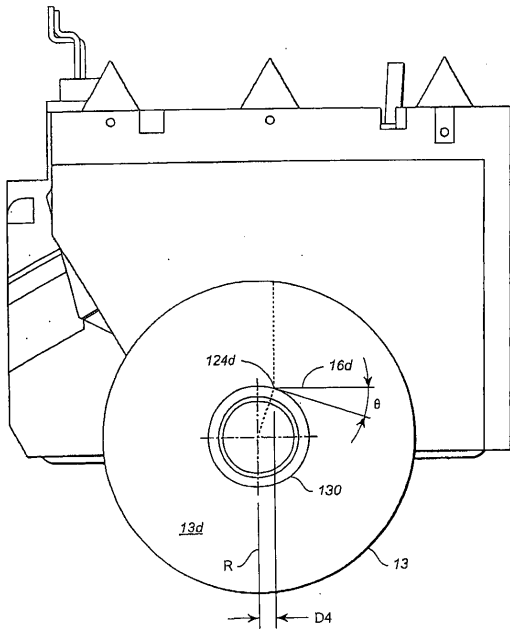


FIG. 11

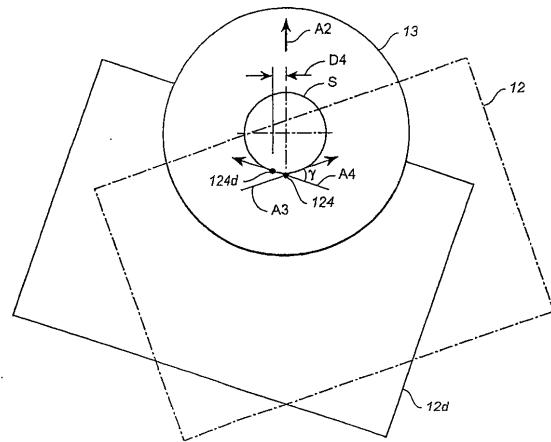


FIG. 12

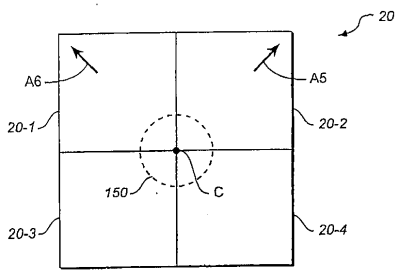


FIG. 13

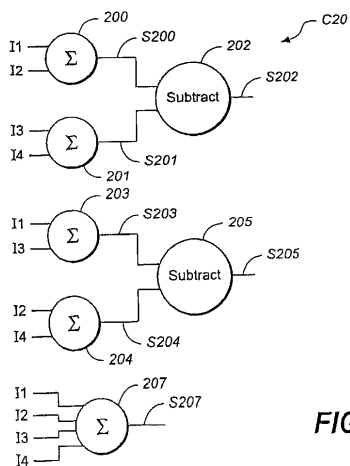


FIG. 14

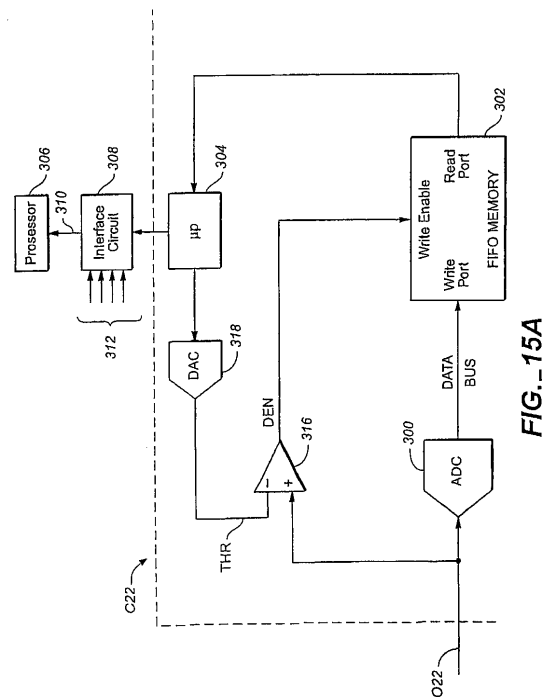


FIG. 15A

