

(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2009-180590
(P2009-180590A)

(43) 公開日 平成21年8月13日(2009.8.13)

(51) Int.Cl.
G01N 21/95 (2006.01)

F I
G O I N 21/95 A

テーマコード(参考)
2 G O 5 1

審査請求 未請求 請求項の数 18 O L (全 18 頁)

(21) 出願番号 特願2008-19133 (P2008-19133)
(22) 出願日 平成20年1月30日(2008.1.30)

(71) 出願人 501387839
株式会社日立ハイテクノロジーズ
東京都港区西新橋一丁目24番14号
(74) 代理人 110000350
ポレール特許業務法人
(72) 発明者 針山 達雄
神奈川県横浜市戸塚区吉田町292番地
株式会社日立製作所生産技術研究所内
(72) 発明者 笹澤 秀明
神奈川県横浜市戸塚区吉田町292番地
株式会社日立製作所生産技術研究所内
(72) 発明者 吉田 実
神奈川県横浜市戸塚区吉田町292番地
株式会社日立製作所生産技術研究所内

最終頁に続く

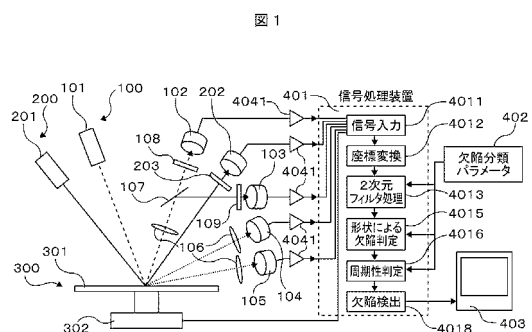
(54) 【発明の名称】 ディスク表面の欠陥検査方法及び欠陥検査装置

(57) 【要約】

【課題】 ディスク表面に発生する線状、円弧状欠陥に対して、周期的に発生する線状、円弧状欠陥と、孤立に発生する線状、円弧状欠陥とを分類して検出する。

【解決手段】 ディスク表面を送光系(101、102)により投光し、その正反射光、散乱光を受光系(102、103、104、105、202)によって受光し、その信号に対して2次元周波数フィルタ処理(4013)により欠陥の顕在化を行う。次に、線状、円弧状欠陥の特徴量である、欠陥幅、長さ等のパラメータにより欠陥判定処理(4015)を行い、線状、孤立欠陥候補を抽出する。次に、周期性特徴量である、欠陥の発生方向、欠陥同士の間隔、発生座標等のパラメータにより周期性判定処理(4016)を行うことにより、周期的に発生する線状、円弧状欠陥と、孤立に発生する線状、円弧状欠陥とを分類して検出する。

【選択図】 図1



【特許請求の範囲】**【請求項 1】**

ディスク表面に光を照射するステップと、前記ディスク表面からの反射光から線状の欠陥を検出するステップと、検出された線状の欠陥に対して周期性の判定を行うステップと、を含み、前記周期性判定の結果に基づいて孤立的に発生する線状の欠陥と周期的に発生する線状の欠陥を分類して検出することを特徴とするディスク表面の欠陥検査方法。

【請求項 2】

前記線状の欠陥に対して周期性の判定を行うステップは、検出された線状欠陥に対する欠陥の発生座標，線分の発生方向，線分間の周期により周期性の判定を行うことを特徴とする請求項 1 に記載のディスク表面の欠陥検査方法。

10

【請求項 3】

ディスク表面に光を照射するステップと、前記ディスク表面からの反射光から円弧状の欠陥を検出するステップと、検出された円弧状の欠陥に対して周期性の判定を行うステップと、を含み、前記周期性判定の結果に基づいて孤立的に発生する円弧状の欠陥と周期的に発生する円弧状の欠陥を分類して検出することを特徴とするディスク表面の欠陥検査方法。

【請求項 4】

前記円弧状の欠陥に対して周期性の判定を行うステップは、検出された円弧状欠陥に対する欠陥の発生座標，円弧中心の座標，円弧間の周期により周期性の判定を行うこと特徴とする請求項 3 に記載のディスク表面の欠陥検査方法。

20

【請求項 5】

ディスク表面にレーザ光を照射する第 1 のステップと、
前記ディスク表面からの反射光からディスク画像を形成する第 2 のステップと、
前記ディスク画像に対して線状の欠陥が存在する周波数帯域のみを通過させるフィルタを乗じて強調を行う第 3 のステップと、
前記強調後の画像に対して欠陥が線状に発生している場合は、直線成分を抽出する第 4 のステップと、
抽出された直線成分に対して測長処理を行い、線状欠陥を検出する第 5 のステップと、
検出された線状欠陥に対して周期性判定を行う第 6 のステップと、
前記第 6 のステップにおいて、周期性があると判定された場合、高さ判定を行う第 7 のステップと、を含み、
前記第 7 のステップにおいて、所定値以上の高さであると判定された場合、周期性線状欠陥であると判定することを特徴とするディスク表面の欠陥検査方法。

30

【請求項 6】

前記第 1 のステップでは前記ディスクを螺旋状に走査し、前記第 2 のステップでは反射光から得られた 1 次元配列信号（極座標）に対して座標変換を行い、ディスク画像（直交座標）の生成を行うことを特徴とする請求項 5 記載のディスク表面の欠陥検査方法。

【請求項 7】

前記第 3 のステップでは、得られたディスク画像に対して 2 次元周波数フィルタを乗じることによって、半径方向（r 方向）および、周方向（ θ 方向）に発生する欠陥に対して方向性によらず、欠陥の顕在化を行うことを特徴とする請求項 5 記載のディスク表面の欠陥検査方法。

40

【請求項 8】

前記第 4 のステップでは、欠陥が線状に発生している場合は、欠陥の顕在化された画像から直線成分の抽出を行うことを特徴とする請求項 5 記載のディスク表面の欠陥検査方法。

【請求項 9】

前記第 5 のステップでは、抽出された直線成分に対して、欠陥幅，長さ等のパラメータを用いて測長処理を行うことを特徴とする請求項 5 記載のディスク表面の欠陥検査方法。

【請求項 10】

50

前記第 6 のステップでは、検出された線状欠陥に対して欠陥の発生方向，欠陥同士の間隔，発生座標などのパラメータを用いて周期性判定を行うことを特徴とする請求項 5 記載のディスク表面の欠陥検査方法。

【請求項 1 1】

前記第 7 のステップでは、前記ディスク画像のコントラストから高さを判定することを特徴とする請求項 5 記載のディスク表面の欠陥検査方法。

【請求項 1 2】

ディスク表面にレーザ光を照射する第 1 のステップと、
前記ディスク表面からの反射光からディスク画像を形成する第 2 のステップと、
前記ディスク画像に対して円弧状の欠陥が存在する周波数帯域のみを通過させるフィルタを乗じて強調を行う第 3 のステップと、
前記強調後の画像に対して欠陥が円弧状に発生している場合は、円弧成分を抽出する第 4 のステップと、
抽出された円弧成分に対して測長処理を行い、円弧状欠陥を検出する第 5 のステップと、

検出された円弧状欠陥に対して周期性判定を行う第 6 のステップと、
前記第 6 のステップにおいて、周期性があると判定された場合、高さ判定を行う第 7 のステップと、を含み、

前記第 7 のステップにおいて、所定値以上の高さであると判定された場合、周期性円弧状欠陥であると判定することを特徴とするディスク表面の欠陥検査方法。

【請求項 1 3】

前記第 4 のステップでは、欠陥が円弧状に発生している場合は、欠陥の顕在化された画像から円弧成分の抽出を行うことを特徴とする請求項 1 2 記載のディスク表面の欠陥検査方法。

【請求項 1 4】

前記第 5 のステップでは、抽出された円弧成分に対して、欠陥幅，長さ等のパラメータを用いて測長処理を行うことを特徴とする請求項 1 2 記載のディスク表面の欠陥検査方法。

【請求項 1 5】

前記第 6 のステップでは、検出された円弧状欠陥に対して欠陥の発生方向，欠陥同士の間隔，発生座標などのパラメータを用いて周期性判定を行うことを特徴とする請求項 1 2 記載のディスク表面の欠陥検査方法。

【請求項 1 6】

前記第 7 のステップでは、前記ディスク画像のコントラストから高さを判定することを特徴とする請求項 1 2 記載のディスク表面の欠陥検査方法。

【請求項 1 7】

レーザ光をディスク表面に照射して該ディスク表面を走査する投光手段と、前記ディスク表面に存在する欠陥による前記レーザ光の反射光を受光するための受光手段と、前記受光手段の出力から欠陥を検出して種類別に判定する信号処理手段とを有し、

前記信号処理手段は、前記受光手段の出力から線状の欠陥を検出し、検出した線状の欠陥に対して周期性の判定を行い、周期性の判定の結果に基づいて孤立的に発生する線状欠陥と、周期的に発生する線状欠陥を分類して検出することを特徴とするディスク表面の欠陥検査装置。

【請求項 1 8】

前記信号処理手段は、さらに前記受光手段の出力から円弧状の欠陥を検出し、検出した円弧状の欠陥に対して周期性の判定を行い、周期性の判定の結果に基づいて孤立的に発生する円弧状欠陥と、周期的に発生する円弧状欠陥を分類して検出することを特徴とする請求項 1 7 記載のディスク表面の欠陥検査装置。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

10

20

30

40

50

【 0 0 0 1 】

本発明は、ディスク表面の検査に係り、特にディスク表面に存在する周期性のある線状欠陥及び円弧状欠陥を検出する方法及び装置に関する。

【 背景技術 】

【 0 0 0 2 】

情報の記録媒体あるいは半導体の素材として、ガラスやシリコンウェハなどのディスクが使用されている。これらの素材の表面に欠陥があるときは、製品の性質が劣化するので、ディスク表面検査装置により検査を行っている。ディスク表面検査装置は、ディスク表面に発生する欠陥を検出するものである。欠陥には多様な種類があり、例えば、表面に付着した微少な塵埃（パーティクル）、しみ（ステイン）、異物による擦り傷（スクラッチ）、微小な凹部（ピット）や凸部（バンプ）、または滑らかに傾斜した凹部（ディンプル）、ディスク受け渡し時の衝突等により生ずるディスク端部の変形（ハンドリングダメージ）、ディスク表面の研磨跡（グライド）等様々なものがある。これらの各種欠陥の効果的な検出方法として、従来ディスク表面検査装置は、ディスク表面上にレーザ光を照射して、前記各欠陥の形状、大きさ等に対してそれぞれ異なって検出される光学的性質、すなわち、前記レーザ光の反射光や散乱光を受光して欠陥を検出する方法を用いている。このような検出方法を利用した、特許文献 1、2 に開示されているディスク表面検査装置の概略構成を図 20 に示す。

10

【 0 0 0 3 】

【 特許文献 1 】 特開2000-180376号公報

20

【 特許文献 2 】 特許第3732980号公報

【 発明の開示 】

【 発明が解決しようとする課題 】

【 0 0 0 4 】

ディスク表面には上述した欠陥以外にも「しわ状」と呼ばれる欠陥（以下、Wrinkle欠陥と呼ぶ）が形成されることがある。Wrinkle欠陥は、ディスク製造においてディスクが熱収縮する過程で発生する欠陥である。その形状特徴を図 2 に示す。同図(a)はディスク全面を示し、同図(b)、(c)はWrinkle欠陥が発生している箇所、の拡大図をそれぞれ示す。また同図(b)の断面プロファイルと同図(d)に、同図(c)の断面プロファイルと同図(e)にそれぞれ示す。Wrinkle欠陥は線状、あるいは円弧状の凹凸が周期的に発生する欠陥であり、発生周期に対して高さが非常に低い低アスペクト欠陥である。本欠陥がディスク表面に存在すると、ヘッドの浮上量が安定せず、磁気を読み書きの精度に影響を与えるので、重大な欠陥である。したがって、Wrinkleがディスク表面に存在するディスクについては、当該ディスクを欠陥ディスクとし、不良品扱いとする場合がある。

30

【 0 0 0 5 】

ところで、従来から知られているディスク表面検査装置（図 20）では低アスペクト（表面凹凸）欠陥に対しては、第二送光系201の正反射光を受光素子202が受光することによって検出を行っている。低アスペクト欠陥検出原理を図 3 に示す。送光系201は欠陥の検知が可能な程度に所定の幅を持つ平行光をディスク301表面に投光して、その正反射光をフィルタ203を介して受光素子202により受光する構成となっている（図 3 (a)）。ディスク301表面に凹欠陥3011が存在する場合（図 3 (b)）、凹欠陥は凹レンズのような働きをし、平行光は集光され受光素子202に受光される。このとき受光素子202によって検出される信号レベルは受光量の増幅に伴って同図(d)に示すように増幅されるため、例えば、しきい値2023により凹欠陥を検出することが可能となる。またディスク301表面に凸欠陥3012が存在する場合（図 3 (c)）、凸欠陥は凸レンズのような働きをし、平行光は拡散集光され受光素子202に受光される。このとき受光素子202によって検出される信号レベルは受光量の減少に伴って同図(e)に示すように減少増幅されるため、例えば、しきい値2024により凹欠陥を検出することが可能となる。

40

【 0 0 0 6 】

しかし、低アスペクト欠陥のうちアスペクト比が非常に低いWrinkle欠陥は欠陥部での

50

信号の増減が非常に小さくなるため、その検出が困難となる。このWrinkle欠陥を従来のディスク表面検査装置により検出するにあたり、次の2点の問題があった。まず1点は従来のディスク表面検査装置では図4に示すように螺旋状にディスクを検査し、信号処理として1次元信号に対してしきい値処理を施していたことである。この処理の場合、仮に図4(a)の欠陥Aのように半径方向(r方向)に欠陥が周期的に存在する場合は螺旋状に検査すると、欠陥の幅方向に横切るため図4(b)の信号のように周期的な信号変化が得られる。しかし信号強度は非常に小さいため、この信号に対してしきい値処理を施した場合、ディスクのうねりによる信号強度変化によって欠陥部Aでの信号変化が埋もれてしまう可能性がある。

【0007】

これを回避するために通常は欠陥が存在する周波数帯域のみを通過させるバンドパスフィルタを信号にかけることによって、うねりを取り除き、しきい値処理による欠陥の検出が可能となる。しかし、図4(a)の欠陥Bのように周方向(θ方向)に欠陥が周期的に存在する場合、螺旋状に検査すると、欠陥の長さ方向に横切るため図4(b)の信号のように欠陥部Bで信号の変化がうねりの周期と同程度の変化となる場合がある。この場合フィルタ処理によっても欠陥を検出することが困難となる。

【0008】

もう1点はA部のようにWrinkle欠陥部に信号強度変化があった場合でも、その強度変化は非常に小さいため、しきい値の設定によっては欠陥の見逃しが発生する、あるいは虚報が大量に発生してしまうといった問題が発生していた。また検出されたとしても他の線状、円弧状の特徴を持つ欠陥種との弁別も十分にはなされていなかった。

【0009】

こうしたWrinkle欠陥を見逃すことにより、ハードディスクに多大な悪影響を与えるといった問題や、虚報が大量に発生するといった問題があり、ディスク表面欠陥検査装置として非常に不都合であった。

【0010】

本発明は上述の問題点を鑑みてなされたもので、Wrinkle欠陥を見逃しなく、正確に弁別して検出することを目的とするものである。

【課題を解決するための手段】

【0011】

上記目的を達成するために、本発明のディスク表面の欠陥検査方法においては、ディスク表面に光を照射するステップと、ディスク表面からの反射光から線状の欠陥を検出するステップと、検出された線状の欠陥に対して周期性の判定を行うステップと、を含み、周期性判定の結果に基づいて孤立的に発生する線状の欠陥と周期的に発生する線状の欠陥を分類して検出することを特徴とする。

【0012】

また、上記目的を達成するために、本発明のディスク表面の欠陥検査方法においては、ディスク表面に光を照射するステップと、ディスク表面からの反射光から円弧状の欠陥を検出するステップと、検出された円弧状の欠陥に対して周期性の判定を行うステップと、を含み、周期性判定の結果に基づいて孤立的に発生する円弧状の欠陥と周期的に発生する円弧状の欠陥を分類して検出することを特徴とする。

【0013】

また、上記目的を達成するために、本発明のディスク表面の欠陥検査装置においては、レーザ光をディスク表面に照射してディスク表面を走査する投光手段と、ディスク表面に存在する欠陥によるレーザ光の反射光を受光するための受光手段と、受光手段の出力から欠陥を検出して種類別に判定する信号処理手段とを有し、信号処理手段は、受光手段の出力から線状の欠陥を検出し、検出した線状の欠陥に対して周期性の判定を行い、周期性の判定の結果に基づいて孤立的に発生する線状欠陥と、周期的に発生する線状欠陥を分類して検出することを特徴とする。

【0014】

10

20

30

40

50

また、前記信号処理手段は、受光手段の出力から円弧状の欠陥を検出し、検出した円弧状の欠陥に対して周期性の判定を行い、周期性の判定の結果に基いて孤立的に発生する円弧状欠陥と、周期的に発生する円弧状欠陥を分類して検出する。

【発明の効果】

【0015】

本発明によれば、低アスペクト欠陥であるWrinkle欠陥を発生方向に関係なく、また虚報を抑制し、見逃しなく検出することが可能となる。したがって、検査ディスクの品質が確保され、場合によってはディスク製造の歩留まりを良くすることができ、ディスクの生産効率を上げることができる、という優れた効果をもつ。

【発明を実施するための最良の形態】

【0016】

以下、添付図面を参照してこの発明の実施の形態を詳細に説明する。

<実施例1>

図1は、実施例1によるディスク表面欠陥検査装置の全体構成の概略図である。図1に示すように、当該装置は、各々送光系と受光系とにより構成される2系統の光学系100、200からなり、例えば、第一の光学系100はピット、ハンドリングダメージ、ステイン、パーティクル、スクラッチ欠陥を、第二の光学系200はバンブ、ディンプル、グライド欠陥を検出する。すなわち、欠陥の種類に対応して光学系は複数設けられている。第一の送光系101はディスク301表面上にレーザースポットを形成するように投光し、第二の送光系201は欠陥の検知が可能な所定の幅を持つ平行光をディスク301表面上に投光して、共にディスク301表面上の同位置をステージ302により螺旋状に走査する。当該ディスク301表面上に欠陥があるときは前記レーザースポットが散乱するので、その散乱光を各受光系により受光して複数の欠陥データ信号を得ている。

【0017】

すなわち、第一送光系101(すなわち、レーザースポット)の散乱光の明視野分を第一の受光素子102が受光し、前記散乱光の暗視野分を第二の受光素子104, 105により受光する(ただし、この例においては、ディスク表面から低角度の方向に散乱される暗視野分を受光素子105に、高角度の方向に散乱される暗視野分を受光素子104により受光している)。そして、第一送光系101の正反射光を受光素子103が、第二送光系201の正反射光を受光素子202が各々受光する。欠陥があるときには、正反射光は増光・減光して各受光素子103、104に受光される。このように、欠陥の種類によってその光の強弱が異なる正反射光や散乱光に対応するように各受光素子は設けられている。また、効率よく目的とする光(すなわち、正反射光や散乱光)を受光するために、フィルタ108, 109, 203やレンズ106等の素子が設けられている。

【0018】

前記各受光素子により受光された光は、アンプ回路4041等を介して各々欠陥データ信号に変換されて、信号処理装置401に入力される(4011)。次に欠陥データ信号は、極座標から直交座標への座標変換処理が行われ、ディスク表面上の所定の単位セル(例えば、ディスクの半径方向の微小距離 r と円周方向の微小距離 θ とで形成される微小な方形セル)に対応してメモリのアドレスに記憶される(4012)。次に座標変換された画像に対してフィルタ処理を行う(4013)。さらに記憶されたアドレスの連続性、密度等欠陥の形状特徴から欠陥判定を行い(4015)、次に欠陥判定において線状欠陥あるいは円弧状欠陥と判定された線分に対して周期性の判定を行う(4016)。欠陥として検出(4018)されたものは出力装置403により出力される。

【0019】

当該ディスク表面欠陥検査装置は送光系と受光系とを各々備える光学系100と光学系200とにより構成され、送光系と受光系とがディスク301表面上の複数欠陥を検出できるように所定位置に配置される。この実施例においては、第一の光学系100で「ピット」、「ハンドリングダメージ」、「ステイン」、「パーティクル」、「スクラッチ」欠陥を各々検出し、第二の光学系200で「バンブ」、「ディンプル」、「グライド」欠陥を各々検出す

10

20

30

40

50

る。そして、第二の光学系200にてWrinkle欠陥の検出を行う。

【0020】

Wrinkle欠陥を検出は、第二送光系201の正反射光を受光素子202が受光することによって行われる。前記光学系を用いて、図2に示したWrinkle欠陥に対して検出を行った結果を図5に示す。図2と図5を比較すると高さの凹凸と信号強度の凹凸が逆転している。これは図3の検出原理に示したように凹欠陥が信号強度の増加となり、凸欠陥が信号強度の減少となるためである。しかし、線状欠陥あるいは円弧状欠陥が周期的に発生するという特徴は変わらない。また、光学系200に関して図3では送光系201として平行光を用いた検出原理を説明したが、送光系として図6に示す収束光を用いても同様に表面凹凸欠陥を検出することが可能である。

10

【0021】

図7は図1の信号処理装置401で実行する欠陥種類の判定を行うプログラムの一例を示したフローチャートである。本処理フローチャートは線状に発生するWrinkle欠陥の判定を行うフローチャートである。円弧状に発生するWrinkle欠陥の判定を行うフローチャートは後に説明する。当該処理はWrinkle欠陥を検出する受光素子202からの欠陥データ信号が入力されること、すなわち、ハードウェア側（つまり、光学系側）で受光素子202がWrinkle欠陥によって生じた信号強度変化を受光することによりスタートする（4011）。

【0022】

ソフトウェア側（つまり、信号処理装置401側）に受光素子202から回路（アンプ4041等）を介して信号が入力されると（4011）、極座標から直交座標への座標変換処理が行われる（4012）。図8に取得信号の座標変換処理を示す。本検査装置では図4に示すようにスパイラル走査方式を採用しているため、検出される連続信号により取得する画像は、図8(a)に示すように横軸に方向画素、縦軸にr方向画素をとる極座標画像となる。極座標画像から実空間でのディスク形状画像、および実欠陥形状画像を得るために、極座標から直交座標（同図(b)）への座標変換が必要となる。極座標画像中の画素(x,y)から直交座標画像中の画素(u,v)への変換には次式を用いる。

20

【0023】

【数1】

$$u = \left\{ \frac{R_2 - R_1}{X}(x) + R_1 \right\} \sin\left(2\pi \frac{y}{Y}\right)$$

$$v = \left\{ \frac{R_2 - R_1}{X}(x) + R_1 \right\} \cos\left(2\pi \frac{y}{Y}\right)$$

30

ここで R_1 はディスク内周半径、 R_2 はディスク外周半径、 X, Y は極座標画像のr方向画素数、方向画素数をそれぞれ示す。ここで各画素（観察点）は離散的な値をとるため、直交座標画素(u,v)に対応する極座標画素(x,y)は必ずしも観察点と一致しない。そこで、近傍の観察点での共一次内挿法による補正を行う。共一次内挿法では同図(c)に示すように、内挿点周囲の観察点4点の画像データを用いて次式で内挿する。

【0024】

【数2】

$$P_{(xy)} = \{(i+1)-x\}\{(j+1)-y\}P_{ij} + \{(i+1)-x\}\{y-j\}P_{ij+1}$$

$$+ \{x-i\}\{(j+1)-y\}P_{i+1j} + \{x-i\}\{y-j\}P_{i+1j+1}$$

40

ここで i, j はそれぞれ x, y の整数部分（観察点）をとる。

【0025】

次に座標変換された画像に対してフィルタ処理を行う（4013）。Wrinkle欠陥は低アスペクト欠陥であり、信号強度は非常に小さいため、この信号に対してしきい値処理を施した場合、ディスクのうねりや高周波装置ノイズによる信号強度変化によって欠陥部での信号変化が埋もれてしまう可能性がある。これを回避するために図9(a)に示すようにWrinkle

50

欠陥の存在する周波数帯域のみを通過させるバンドパスフィルタを信号にかけることによって、うねりおよびノイズを取り除き、しきい値処理による欠陥の検出が可能となる。ここで周波数帯域はユーザによって設定される（あるいは当該装置に予め設定されている）欠陥の周期パラメータから求められる。フィルタの一例を図9(b)に示す。同図は $n \times n$ のデジタルフィルタを示しており、画像に対して同フィルタをコンボリューションさせることによりフィルタ処理を行う。フィルタサイズ、フィルタ係数はWrinkle欠陥の存在する周波数帯域のみを通過させる特性となるように決定される。またフィルタ処理後の画像に対する2値化処理はユーザによって設定される（あるいは当該装置に予め設定されている）しきい値と比較する。

【0026】

10

次に前記処理によって2値化された画像に対して、直線成分の抽出を行う(4014)。直線検出を行うための一例としてHough変換法を用いる。図10にHough変換の原理を示す。同図(a)は実空間 (x, y) 上の画像であり、(b)はHough空間を示す。例えば、3個の点 P_1, P_2, P_3 が一直線上にあるとすれば、その直線方程式は次式となる。

【0027】

【数3】

$$\rho = x \cos \theta + y \sin \theta$$

但し、 ρ は画像の左隅から直線に下ろした垂線の長さであり、 θ は x 軸と垂線とがなす角である。このとき、一つの直線は、同図(b)で示す (ρ, θ) パラメータ空間上の1点と等価である。対象となる2値画像で値が‘1’である各点 (P_1, P_2, P_3) において、上式を満足する (ρ, θ) の組を計算し、それをプロットしたのが同図(b)の $L_{\rho_1} \sim L_{\rho_3}$ である。 $L_{\rho_1} \sim L_{\rho_3}$ はただ1点 (ρ_m, θ_m) で交わっており、その点が同図(a)の P_1, P_2, P_3 が構成する直線を表している。言い換えれば (ρ_m, θ_m) パラメータ空間上で、最も交差回数の多い点(頻度最大の点 (ρ_m, θ_m))を選べば、 (ρ_m, θ_m) が決定する直線が、対象画像上で最も支配的な直線成分であることになる。以上の原理に基づき直線成分の抽出を行う。

20

【0028】

次に抽出した複数の線分に対して、構成点間距離と線分長により、線状欠陥判定を行う(4015)。図11に判定方法を示す。同図において (ρ_m, θ_m) パラメータ空間上で選択された点に対して x, y 空間上に直線を引き、その直線に対してユーザによって設定される（あるいは当該装置に予め設定されている）幅のしきい値パラメータ W をとり、その範囲に存在する点群をその直線を構成する点群とする。幅を持たせた理由としては実際の線状欠陥は1本の線上には乗っておらずある程度幅をもった線分であるからである。次に点群間の距離 $g_i (i=1, 2, \dots)$ を求め、ユーザによって設定される（あるいは当該装置に予め設定されている）距離のしきい値パラメータ g_t より小さければその点群は連続であると見なし、大きければ離れていると見なす。次に連結した点群に対して両端の点間の距離(線分長) $l_i (i=1, 2, \dots)$ を求め、ユーザによって設定される（あるいは当該装置に予め設定されている）長さのしきい値パラメータ l_t より小さければ、欠陥ではないと見なし、大きければ欠陥として検出する。同図において具体的に示すと、間隔 g_1, g_2 を $g_1 < g_t < g_2$ とすると、 l_1 と l_2 とは一つの線分 L となり、 l_3 は独立した線分となる。また線分 L, l_3 と l_t を $l_3 < l_t < L$ とすると、最終的に L が欠陥として検出される。

30

40

【0029】

次に線状欠陥と判定された線分に対して周期性の判定を行う(4016)。図12に判定方法を示す。同図(a)のディスク画像において線状欠陥と判定された線分が数本存在する箇所A部の拡大図を同図(b)に示す。ここで仮に線分 L_1 を周期性判定の基準としての周期性の判定の処理を行う(4016)。まずユーザによって設定される（あるいは当該装置に予め設定されている）方向性のしきい値パラメータ α により方向性の判定を行う。つまり、Hough変換時に求めた直線の角度 θ に関して、 $\theta_1 \pm \alpha$ の範囲内にある線分を L_1 に対して周期性がある候補線分として取り出す。例えば、同図(b)の場合、 L_2, L_3, L_4 は方向性が一致しており、 L_5 は方向性が一致していないと判定する。次に L_1 の始点座標 (x_{1s}, y_{1s}) と終点座標 (x_{1e}, y_{1e}) および、ユーザによって設定される（あるいは当該装置に予め設

50

定されている) 周期のしきい値パラメータ から四角で囲まれる領域を考え、その領域内にある線分に対して線分L1と周期性があると判断する。例えば同図(b)の場合、その領域は点線で示される領域となり、その中に含まれるL₂が周期性があると判断される。同様にL₂を基準と考えると、L₃が周期性があると判断され、最終的にはL₁, L₂, L₃が周期性がある線分群として判断される。

【0030】

周期性判定された線状欠陥に対して最後に高さ判定を行う(4017)。なぜならばディスク表面の凹凸量はヘッドの浮上量の不安定性を招くため、高さによる欠陥判定を行う必要がある。画像データから高さ判定を行う一例を図13に示す。図3に示した光学系を用いて面
10
板表面を検査した場合、高さ情報はコントラストとして画像上に現れるため、このコントラスト情報を用いて高さ判定を行う。周期性判定の段階で孤立欠陥と判定された線分と、周期性があると判定された線分では、高さ判定の方法が多少異なってくるのでまずは孤立欠陥と判定された線分に対する高さの求め方を図13(a), (b)を用いて説明する。同図(a)に示すように線分の始点P_sから終点P_eまでの各点に対して、その点を含むようにして線分と直交する探査領域Q₁~Q₂が設定され、探査領域における点Q₁から点Q₂までの濃度値から線分のコントラストが求められる。これを同図(b)により説明すれば、探査領域Q₁~Q₂をm₁、m₂、m₃の3領域に分け、線分はm₂の領域に存在すると考える。コントラストは周りの部分との比較なので、その部分での平均的な濃度は線分の外側であるm₁とm₃の部分から次式で算出されるようになっている。

【0031】

【数4】

$$C_n = \sum_{i \in D_1} \left\{ \frac{1}{m_1 + m_3} \right\} \cdot \sum_{j \in D_1 + D_3} \{f_j\} - f_i$$

この平均的な濃度値とm₂の領域の濃度値との差分を求め、それを領域m₂で積分したものが線分における点P_nでのコントラストとして求められる。

【0032】

C_nの値を線分の始点P_sからP_eまで計算、累積加算してこれを線分長さLで除算すれば、平均的なコントラストC_{av}が求められる。

【0033】

【数5】

$$C_{av} = \left(\sum_{P_s}^{P_e} C_n \right) / L$$

欠陥判定としては求めたコントラスト値と実プロファイル(他装置測定)による高さ計測値との相関を同図(c)のようにとることによって検出された線状欠陥のコントラストから欠陥判定が可能である。

【0034】

次に周期性欠陥と判定された線分に対する高さの求め方を図13(d), (e)を用いて説明する。同図(d)に示すように線分の始点P_sから終点P_eまでの各点に対して、その点を含む
40
ようにして線分と直交する探査領域Q₁~Q₂が設定され、探査領域における点Q₁から点Q₂までの濃度値から線分のコントラストが求められる。これを同図(e)により説明すれば、周期欠陥部では表面凹凸が連続して発生しているため濃度の高低も連続して発生すると考えられる。そこで探査領域Q₁~Q₂の平均濃度値を求め、この平均的な濃度値と領域Q₁~Q₂の濃度値との差分の絶対値を求め、それを領域Q₁~Q₂で積分し、領域Q₁~Q₂に含まれる線分数で除算した値が周期線分における点P₁, P₂, P₃でのコントラストとして求められる。

【0035】

【数 6】

$$C_n = \sum_{i=Q_1}^{Q_2} \left| \sum_{j=Q_1}^{Q_2} \{f_j\} - f_i \right|$$

C_n の値を線分の始点 P_s から P_e まで計算、累積加算してこれを線分長さ L で除算すれば、平均的なコントラスト C_{av} が求められる。

【0036】

【数 7】

$$C_{av} = \left(\sum_{P_s}^{P_e} C_n \right) / L$$

10

欠陥判定としては求めたコントラスト値と実プロファイル（他装置測定）による高さ計測値との相関を同図(c)のようにとることによって検出された線状欠陥のコントラストから欠陥判定が可能である。

【0037】

上記処理により、図7に示すように、最終的に周期性線状欠陥検出(4018)、孤立線状欠陥検出(4020)、ノイズ検出(4019)がなされ、出力装置403により出力される。なお欠陥分類パラメータ(4021,4022)の入力は例えば、図19(a)に示すように欠陥分類パラメータ入力装置402の入力画面によりユーザにより入力され、検出結果の出力は出力画面403に示すように、欠陥種ごとに例えば色分けして表示される。

20

【0038】

上記実施例1によれば、低アスペクト欠陥である周期性線状欠陥を発生方向に関係なく、また虚報を抑制し、見逃しなく検出することが可能となる。

【0039】

<実施例2>

次に円弧状に発生するWrinkle欠陥の判定方法を実施例2として説明する。図14に円弧状分布の特徴を持つ欠陥に対する画像処理フローを説明する。同図4011~4013までの処理内容は図7で説明した処理と同様である。

【0040】

次に前記処理によって2値化された画像に対して、円弧成分の抽出を行う(40141)。円弧検出を行うための一例としてHough変換法を用いる。図15にHough変換の原理を示す。図15(a)において、例えば、3個の点 P_1 、 P_2 、 P_3 が半径 r の同一円上にあるとすれば、その円方程式は次式となる。

30

【0041】

【数 8】

$$(x-a)^2 + (y-b)^2 = r^2$$

但し、 a 、 b は円の中心座標となる。中心座標(a 、 b)の求め方は点 P_1 、 P_2 、 P_3 を中心とする半径 r の円を描き、その円の交差回数の最も多い点が中心座標(a 、 b)となる。この処理を画像全体の‘1’画素に対して行えば、半径 r となる円の中心座標候補が挙げられる。欠陥となりうる円弧状欠陥の半径は任意の値であり、例えば、半径 $r_1 \sim r_2$ までの欠陥が致命欠陥の半径の対象範囲とする。この場合交差回数の多い点を選ぶ投票は空間(a_m 、 b_m 、 r_m)で行われ、選出された点により円弧状欠陥の半径および中心座標が求まる。

40

【0042】

次に抽出した複数の円弧に対して、構成点間距離と円弧長により、円弧状欠陥判定を行う(40151)。図16に判定方法を示す。まず、 a 、 b 、 r パラメータ空間より求めた(a_m 、 b_m 、 r_m)の値から、 x 、 y 平面上に円を描く。ユーザによって設定される(あるいは当該装置に予め設定されている)幅のしきい値パラメータ W をとり、その範囲に存在する点群をその円弧を構成する点群とする。幅を持たせた理由としては実際の円弧欠陥は1本の線上には乗っておらずある程度幅をもった円弧であるからである。次に点群間の距離 r_{g_i} ($i=1$,

50

2...)を求め、ユーザによって設定される(あるいは当該装置に予め設定されている)距離のしきい値パラメータ r_{gt} より小さければその点群は連続であると見なし、大きければ離れていると見なす。次に連結した点群に対して両端の点間の距離(円弧長) r_{li} ($i=1,2,\dots$)を求め、ユーザによって設定される(あるいは当該装置に予め設定されている)長さのしきい値パラメータ r_{lt} より小さければ、欠陥ではないと見なし、大きければ欠陥として検出する。同図において具体的に示すと、間隔 r_{g1}, r_{g2} を $r_{g1} < r_{gt} < r_{g2}$ とすると、 r_{l1} と r_{l2} とは一つの円弧 r_L となり、 r_{l3} は独立した円弧となる。また円弧 r_L, r_{l3} と r_{lt} を $r_{l3} < r_{lt} < r_L$ とすると、最終的に r_L が欠陥として検出される。

【0043】

10

次に円弧状欠陥と判定された円弧に対して周期性の判定を行う(40161)。図17に判定方法を示す。同図(a)のディスク画像において、円弧状欠陥と判定された円弧が数本存在する箇所A部の拡大図を同図(b)に示す。ここで仮に円弧C1を周期性判定の基準として周期性判定の処理を行う(40161)。まずユーザによって設定される(あるいは当該装置に予め設定されている)円弧中心座標のしきい値パラメータ a, b により同一中心性の判定を行う。つまり、Hough変換時に求めた円弧中心座標に関して、 $(a \pm a, b \pm b)$ の範囲内にある円弧をC1に対して周期性がある候補線分として取り出す。例えば、同図(b)の場合、 $(a_2, b_2), (a_3, b_3), (a_4, b_4)$ は中心座標が同一であり、 (a_5, b_5) は中心座標が同一でないと判定する。次にC1の始点座標 (x_{1s}, y_{1s}) と終点座標 (x_{1e}, y_{1e}) および、ユーザによって設定される(あるいは当該装置に予め設定されている)周期のしきい値パラメータ r から帯状で囲まれる領域を考え、その領域内にある線分に対して円弧C1と周期性があると判断する。例えば同図(b)の場合、その領域は点線で示される領域となり、その中に含まれるC2が周期性があると判断される。同様にC2を基準と考えると、C3が周期性があると判断され、最終的にはC1, C2, C3が周期性がある円弧群として判断される。

20

【0044】

周期性判定された線状欠陥に対して最後に高さ判定を行う(40171)。なぜならばディスク表面の凹凸量はヘッドの浮上量の不安定性を招くため、高さによる欠陥判定を行う必要がある。画像データから高さ判定を行う一例を図18に示す。図3に示した光学系を用いて面板表面を検査した場合、高さ情報はコントラストとして画像上に現れるため、このコントラスト情報を用いて高さ判定を行う。周期性判定の段階で孤立欠陥と判定された円弧と周期性があると判定された円弧では高さ判定の方法が多少異なってくるのでまずは孤立欠陥と判定された円弧に対する高さの求め方を図18(a), (b)を用いて説明する。同図(a)に示すように円弧の始点 P_s から終点 P_e までの各点に対して、着目点に対する垂線と直交する探查領域 $Q_1 \sim Q_2$ が設定され、領域における点 Q_1 から点 Q_2 までの濃度値から線分のコントラストが求められる。これを同図(b)により説明すれば、領域 $Q_1 \sim Q_2$ を m_1, m_2, m_3 の3領域に分け、円弧は m_2 の領域に存在すると考える。コントラストは周りの部分との比較なので、その部分での平均的な濃度は円弧の外側である m_1 と m_3 の部分から算出されるようになっている。この平均的な濃度値と m_2 の領域の濃度値との差分を求め、それを領域 m_2 で積分したものが線分における点 P_n でのコントラストとして求められる(次式)。

30

【0045】

【数9】

40

$$C_n = \sum_{i \in D_2} \left\{ \frac{1}{m_1 + m_3} \right\} \cdot \sum_{j \in D_1 + D_3} \{f_j\} - f_i$$

C_n の値を円弧の始点 P_s から終点 P_e まで計算、累積加算してこれを円弧長さ r_L で除算すれば、平均的なコントラスト C_{av} が求められる(次式)。

【0046】

【数 1 0】

$$C_{av} = \left(\sum_{P_s}^{P_e} C_n \right) / r\theta_L$$

欠陥判定としては求めたコントラスト値と実プロファイル（他装置測定）による高さ計測値との相関を同図(c)のようにとることによって検出された円弧状欠陥のコントラストから欠陥判定が可能である。

【0047】

次に周期性欠陥と判定された円弧に対する高さの求め方を図18(d), (e)を用いて説明する。同図(d)に示すように円弧の始点 P_s から終点 P_e までの各点に対して、着目点に対する垂線と直交する探查領域 $Q_1 \sim Q_2$ が設定され、領域における点 Q_1 から点 Q_2 までの濃度値から線分のコントラストが求められる。これを同図(e)により説明すれば、周期欠陥部では表面凹凸が連続して発生しているため濃度の高低も連続して発生すると考えられる。そこで領域 $Q_1 \sim Q_2$ の平均濃度値を求め、この平均的な濃度値と領域 $Q_1 \sim Q_2$ の濃度値との差分の絶対値を求め、それを領域 $Q_1 \sim Q_2$ で積分し、領域 $Q_1 \sim Q_2$ に含まれる円弧数で除算した値が周期線分における点 P_1, P_2, P_3 でのコントラストとして求められる（次式）。

【0048】

【数 1 1】

$$C_n = \sum_{i=Q_1}^{Q_2} \left| \sum_{j=Q_1}^{Q_2} \{f_j\} - f_i \right|$$

C_n の値を円弧の始点 P_s から P_e まで計算、累積加算してこれを円弧長さ r_L で除算すれば、平均的なコントラスト C_{av} が求められる（次式）。

【0049】

【数 1 2】

$$C_{av} = \left(\sum_{P_s}^{P_e} C_n \right) / r\theta_L$$

欠陥判定としては、求めたコントラスト値と実プロファイル（他装置測定）による高さ計測値との相関を同図(c)のようにとることによって検出された線状欠陥のコントラストから欠陥判定が可能である。

【0050】

上記処理により最終的に周期性円弧状欠陥検出(40181)、孤立円弧状欠陥検出(40201)、ノイズ検出(40191)がなされ、出力装置403により出力される。なお欠陥分類パラメータ(40211, 40221)の入力は、図19(b)に示すように欠陥分類パラメータ入力装置402の入力画面によりユーザにより入力され、検出結果の出力は出力画面403に示すように、欠陥種ごとに例えば色分けして表示される。

【0051】

上記実施例2によれば、低アスペクト欠陥である周期性円弧状欠陥を発生方向に関係なく、また虚報を抑制し、見逃しなく検出することが可能となる。

【0052】

< 実施例 3 >

前記実施例1は、周期性線状欠陥の検出に係り、実施例2は周期性円弧状欠陥の検出に係るものであるが、これらは同じ欠陥検査装置において、同時に実施するのが望ましい。その場合には、図7のフローチャートにおいて、直線検出ステップ(4014)、線状欠陥判定ステップ(4015)の後に、あるいは平行に、図14に示す円弧検出ステップ(40141)、円弧状欠陥判定ステップ(40161)を実行するようにすれば良い。こうすることにより、ディスクのWrinkle欠陥である周期性線状欠陥と周期性円弧状欠陥を検出することが可能となる。

【0053】

10

20

30

40

50

< 実施例 4 >

上記実施例では低アスペクト欠陥に対する処理フローについて説明したが、上記欠陥検出方法はディスク表面に発生する線状欠陥、円弧状欠陥、例えばスクラッチ等に対する検出にも適用可能である。この場合、第一の光学系の第一送光系101の散乱光を受光素子102、104、105が受光し、その信号を信号処理装置401に入力することによって処理がスタートする。この場合、欠陥分類パラメータ402は検出したい欠陥種に応じてユーザが入力する。この処理により、周期的に発生するスクラッチと孤立的に発生するスクラッチとを分類して検出することが可能となる。

【図面の簡単な説明】

【0054】

【図1】本発明に係るディスク表面欠陥検査装置の全体構成の概略図である。

【図2】本発明の欠陥検出処理が対象とする欠陥の特徴を示した図である。

【図3】本発明に係るディスク表面欠陥検査装置によるディスク表面凹凸欠陥の検出原理を示した図である。

【図4】本発明に係るディスク表面欠陥検査装置の検査方向とディスク表面凹凸欠陥の発生方向の関係を示した図である。

【図5】本発明の欠陥検出処理が対象とする欠陥の画像上の特徴を示した図である。

【図6】ディスク表面欠陥検査装置の送光系の他の構成例を示した図である。

【図7】実施例1による周期性線状欠陥を検出する処理フローを示した図である。

【図8】データ処理のための取得データに対する座標変換を示した図である。

【図9】線状欠陥抽出のためのフィルタの例を示した図である。

【図10】Hough変換による線検出の原理を説明する図である。

【図11】Hough変換によって検出した直線に対する測長結果を示した図である。

【図12】欠陥候補として検出された線分に対する周期性判定を示した図である。

【図13】欠陥候補として検出された孤立線分，周期性線分に対してコントラストによる高さ判定により、欠陥判定を行う処理を示した図である。

【図14】実施例2による周期性円弧状欠陥を検出する処理フローを示した図である。

【図15】Hough変換による円弧検出の原理を説明する図である。

【図16】Hough変換によって検出した円弧に対する測長結果を示した図である。

【図17】欠陥候補として検出された円弧に対する周期性判定を示した図である。

【図18】欠陥候補として検出された孤立円弧，周期性円弧に対してコントラストによる高さ判定により、欠陥判定を行う処理を示した図である。

【図19】欠陥分類パラメータ入力画面と欠陥検出結果を出力する画面の概念図である。

【図20】従来のディスク表面欠陥検査装置の概略構成図である。

【符号の説明】

【0055】

101... 第一の送光素子、102,104,105... 第一の散乱光受光素子、103... 第一の正反射光受光素子、106... レンズ、108,109,203... フィルタ、201... 第二の送光素子、202... 第二の正反射光受光素子、301... ディスク、302... ステージ、401信号処理装置、402... 欠陥分類パラメータ入力装置、403... 出力装置、3011... 凹欠陥、3012... 凸欠陥、4011... 信号入力ステップ、4012... 座標変換ステップ、4013... 空間フィルタ処理ステップ、4014... 直線検出ステップ、4015... 線状欠陥判定ステップ、4016... 周期性判定ステップ、4017... 高さ判定ステップ、4018... 周期性線状欠陥検出ステップ、4020... 孤立線状欠陥検出ステップ、4041... アンプ回路、40141... 円弧検出ステップ、40151... 円弧状欠陥判定ステップ、40161... 周期性判ステップ、40171... 高さ判定ステップ、40181... 周期性円弧状欠陥検出ステップ、40201... 孤立円弧状欠陥検出ステップ。

10

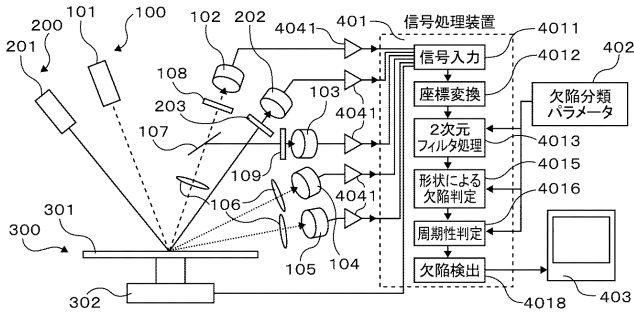
20

30

40

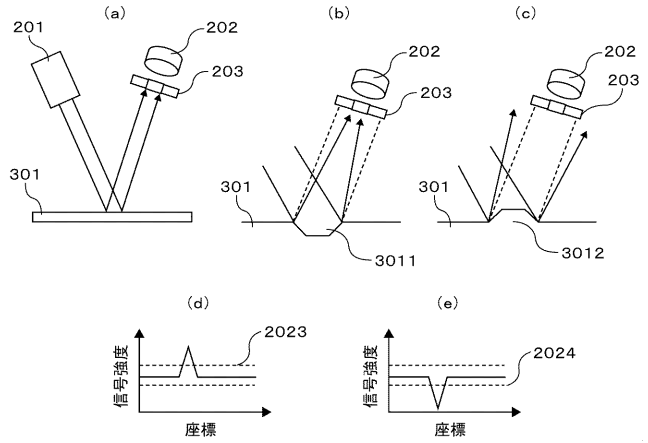
【 図 1 】

図 1



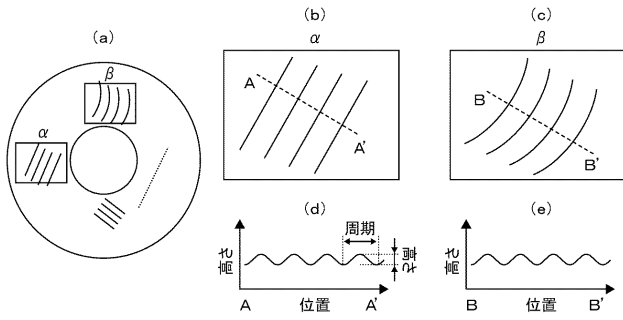
【 図 3 】

図 3



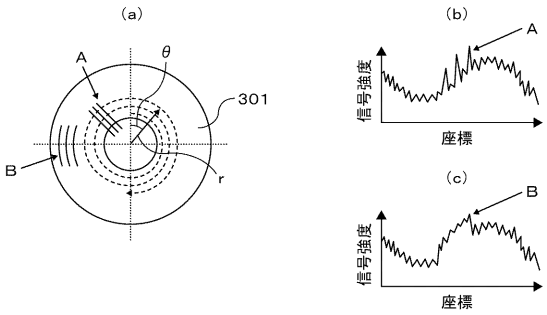
【 図 2 】

図 2



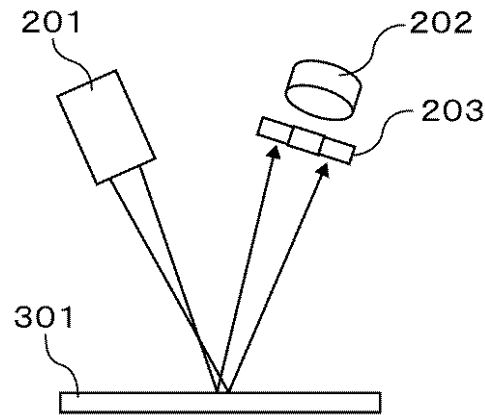
【 図 4 】

図 4



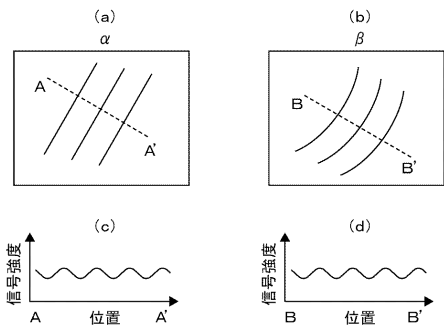
【 図 6 】

図 6



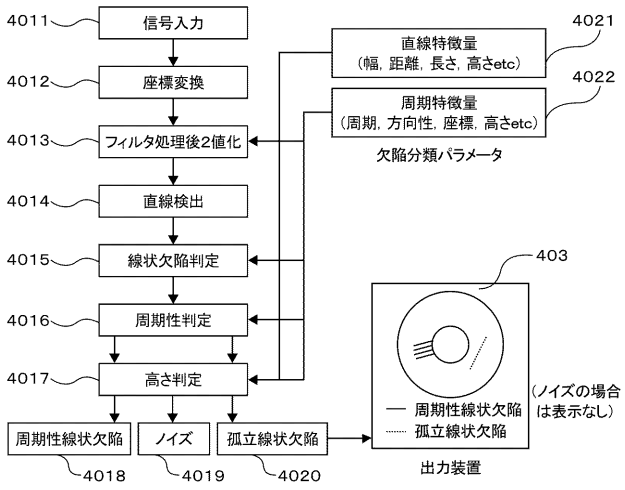
【 図 5 】

図 5



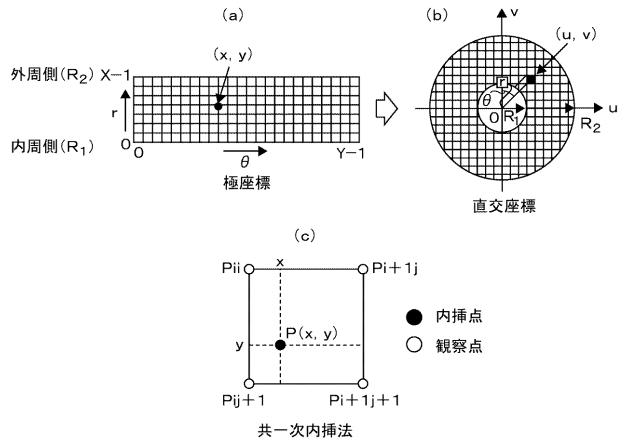
【 図 7 】

図 7



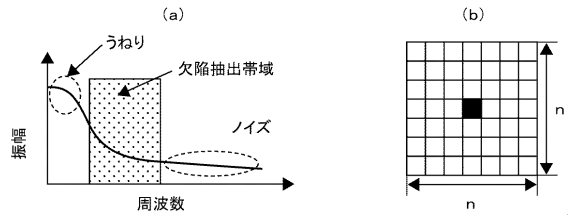
【 図 8 】

図 8



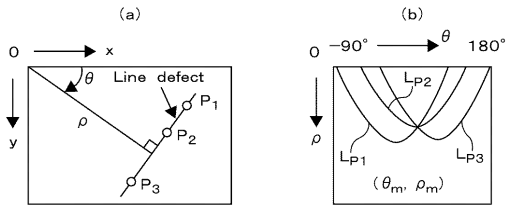
【 図 9 】

図 9



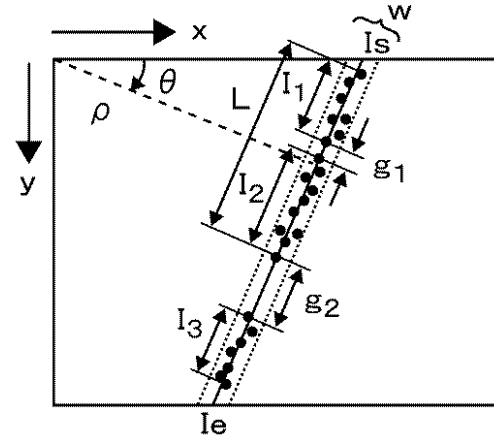
【 図 10 】

図 10



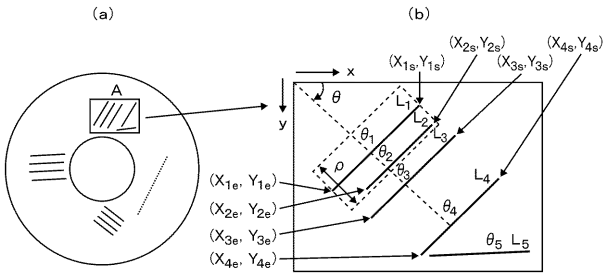
【 図 11 】

図 11



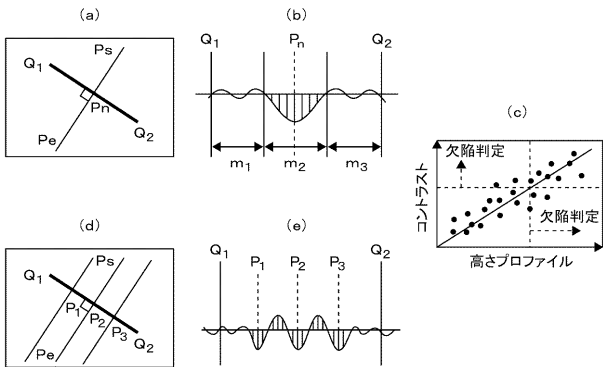
【 図 1 2 】

図 1 2



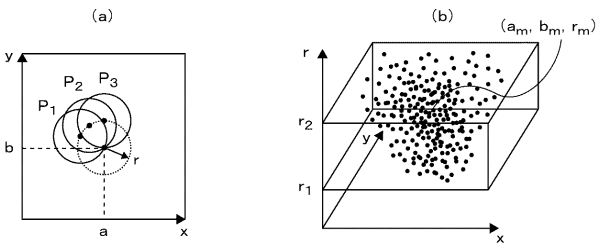
【 図 1 3 】

図 1 3



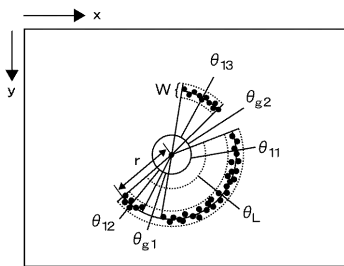
【 図 1 5 】

図 1 5



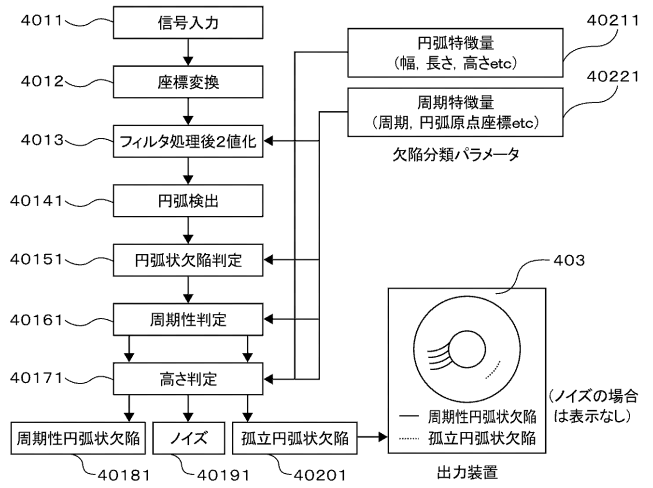
【 図 1 6 】

図 1 6



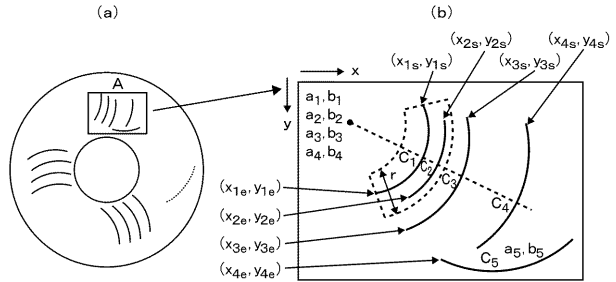
【 図 1 4 】

図 1 4



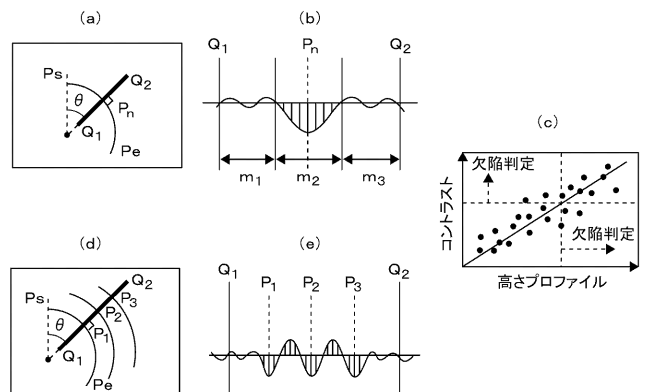
【 図 1 7 】

図 1 7



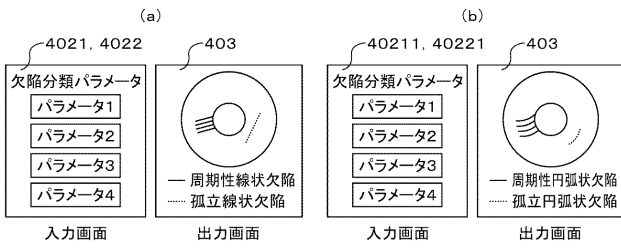
【 図 1 8 】

図 1 8



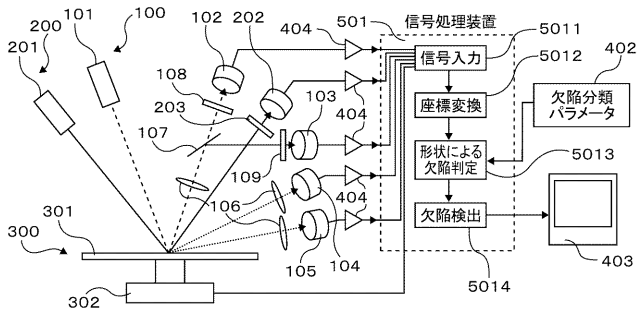
【 図 1 9 】

図 1 9



【 図 2 0 】

図 2 0



フロントページの続き

(72)発明者 芹川 滋

神奈川県足柄上郡中井町久所 3 0 0 番地 株式会社日立ハイテクノロジーズ湘南事業所内

Fターム(参考) 2G051 AA71 AB02 BA01 BA10 BB05 CB01 CC07 EA11 EA12 EA14

EC01 EC06