

(19)日本国特許庁(JP)

(12)公開特許公報(A)

(11)公開番号

特開2023-142687

(P2023-142687A)

(43)公開日 令和5年10月5日(2023.10.5)

| | | |
|-------------------------|---------------|------------|
| (51)国際特許分類 | F I | テーマコード(参考) |
| G 0 2 B 21/00 (2006.01) | G 0 2 B 21/00 | 2 H 0 5 2 |
| G 0 2 B 21/36 (2006.01) | G 0 2 B 21/36 | |

審査請求 未請求 請求項の数 12 O L (全30頁)

| | | | |
|----------|---------------------------|---------|--|
| (21)出願番号 | 特願2022-49705(P2022-49705) | (71)出願人 | 390019839 三星電子株式会社 Samsung Electronics Co., Ltd. 大韓民国京畿道水原市靈通区三星路129 129, Samsung-ro, Yeongtong-gu, Suwon-si, Gyeonggi-do, Republic of Korea |
| (22)出願日 | 令和4年3月25日(2022.3.25) | (74)代理人 | 100103894 弁理士 家入 健 |
| | | (72)発明者 | 小澤 謙 神奈川県横浜市鶴見区菅沢町2-7 株式会社サムスン日本研究所内 |

最終頁に続く

(54)【発明の名称】 偏光顕微鏡装置及び視野内補正解析方法

(57)【要約】

【課題】視野内の磁化特性を高精度に測定することができる偏光顕微鏡装置及び視野内補正解析方法を提供する。

【解決手段】実施形態に係る偏光顕微鏡装置1は、照明光21を生成する光源10と、照明光21が入射され、第1の偏光方向の直線偏光を含む照明光21を透過させる偏光子12と、直線偏光を含む照明光21で試料20を照明するとともに、照明光21が試料20で反射した反射光22を透過させる対物レンズ14と、反射光22における第2の偏光方向の直線偏光の成分を透過させる検光子17と、反射光22の画像を取得する画像取得部19と、試料20に印加する外部磁場を生成する磁石16と、取得した画像を処理する画像処理部30と、を備え、画像処理部30は、視野内のROI毎の偏光回転角度分布、及び、楕円率の2乗分布を含む装置定数を算出し、装置定数及びヒステリシスループを用いた解析からROI毎にカー回転の回転角を算出する。

【選択図】図6

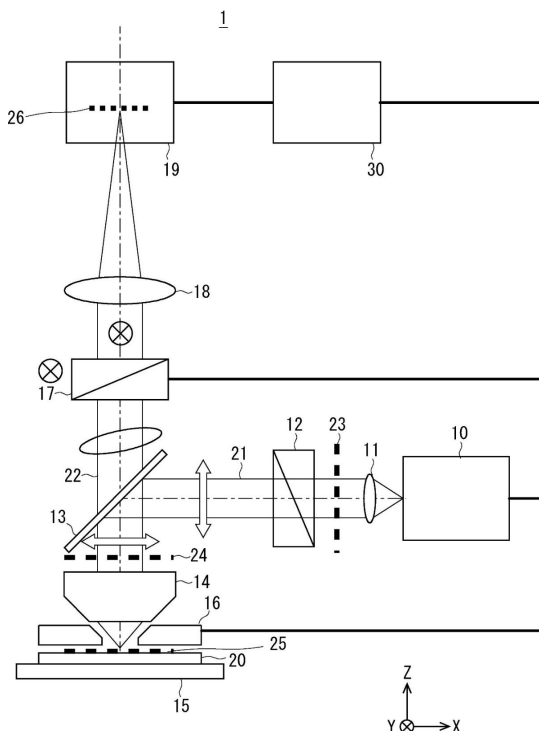


Fig. 6

【特許請求の範囲】

【請求項 1】

照明光を生成する光源と、

前記光源で生成された前記照明光が入射され、第 1 の偏光方向の直線偏光を含む前記照明光を透過させる偏光子と、

前記直線偏光を含む前記照明光で試料を照明するとともに、前記照明光が前記試料で反射した反射光を透過させる対物レンズと、

前記反射光における第 2 の偏光方向の直線偏光の成分を透過させる検光子と、

前記反射光の画像を取得する画像取得部と、

前記試料に印加する外部磁場を生成する磁石と、

前記取得した画像を処理する画像処理部と、

を備え、

前記画像処理部は、

前記第 1 の偏光方向と、前記第 2 の偏光方向と、のなす角度を所定の範囲内において所定の刻みで回転させながら、非磁性の前記試料、または、磁性体を含む前記試料を磁場印加しない状態で用いることで非磁性鏡面と見なせる試料に対して、偏光した前記照明光を照明することにより取得した複数の前記画像から、複数の着目領域を含む視野内の前記着目領域毎の偏光回転角度分布、及び、楕円化による楕円率の 2 乗分布を含む装置定数を算出し、

前記第 1 の偏光方向と前記第 2 の偏光方向とのなす前記角度を第 1 角度に設定した場合に、前記磁性体を含む前記試料の前記磁性体の部分に対して、偏光した前記照明光を照明するとともに、前記外部磁場を掃引しながら取得した複数の画像から、前記着目領域毎の輝度値のヒステリシスループを取得し、

前記第 1 の偏光方向と前記第 2 の偏光方向とのなす前記角度を第 2 角度に設定した場合に、前記磁性体を含む前記試料の前記磁性体の部分に対して、前記偏光した照明光を照明するとともに、前記外部磁場を掃引しながら取得した複数の画像から、前記着目領域毎の前記輝度値のヒステリシスループを取得し、

前記装置定数、前記第 1 角度における前記ヒステリシスループ及び前記第 2 角度における前記ヒステリシスループを用いた解析から前記着目領域毎にカー回転の回転角を算出する、

偏光顕微鏡装置。

【請求項 2】

前記検光子は、前記偏光子に対してクロスニコル配置を基準にして前記所定の範囲を回転させる、

請求項 1 に記載の偏光顕微鏡装置。

【請求項 3】

前記画像処理部は、マリユス則を用いて、前記着目領域毎の前記角度分布、及び、前記 2 乗分布を含む前記装置定数を算出する、

請求項 1 または 2 に記載の偏光顕微鏡装置。

【請求項 4】

前記装置定数は、輝度分布を含み、

前記画像処理部は、前記着目領域毎の前記輝度分布を含む前記装置定数を算出する、

請求項 1 ~ 3 のいずれか 1 項に記載の偏光顕微鏡装置。

【請求項 5】

前記画像処理部は、前記第 1 角度における前記ヒステリシスループ及び前記第 2 角度における前記ヒステリシスループを、経験的な近似関数にフィッティングすることにより、前記着目領域毎のコントラスト、保磁力及びスロープを算出する、

請求項 1 ~ 4 のいずれか 1 項に記載の偏光顕微鏡装置。

【請求項 6】

前記画像処理部は、前記第 1 角度、前記第 2 角度、前記第 1 角度における輝度コントラ

10

20

30

40

50

スト及び前記第 2 角度における輝度コントラストに基づいて、前記着目領域毎の前記回転角を算出する、

請求項 5 に記載の偏光顕微鏡装置。

【請求項 7】

照明光を生成する光源と、

前記光源で生成された前記照明光が入射され、第 1 の偏光方向の直線偏光を含む前記照明光を透過させる偏光子と、

前記直線偏光を含む前記照明光で試料を照明するとともに、前記照明光が前記試料で反射した反射光を透過させる対物レンズと、

前記反射光における第 2 の偏光方向の直線偏光の成分を透過させる検光子と、

10

前記反射光の画像を取得する画像取得部と、

前記試料に印加する外部磁場を生成する磁石と、

前記取得した画像を処理する画像処理部と、

を備えた偏光顕微鏡装置を用いた視野内補正解析方法であって、

前記第 1 の偏光方向と、前記第 2 の偏光方向と、のなす角度を所定の範囲内において所定の刻みで回転させながら、非磁性の前記試料、または、磁性体を含む前記試料を磁場印加しない状態で用いることで非磁性鏡面と見なせる試料に対して、偏光した前記照明光を照明することにより取得した複数の前記画像から、複数の着目領域を含む視野内の前記着目領域毎の偏光回転角度分布、及び、楕円化による楕円率の 2 乗分布を含む装置定数を算出する第 1 ステップと、

20

前記第 1 の偏光方向と前記第 2 の偏光方向とのなす前記角度を第 1 角度に設定した場合に、前記磁性体を含む前記試料の前記磁性体の部分に対して、偏光した前記照明光を照明するとともに、前記外部磁場を掃引しながら取得した複数の画像から、前記着目領域毎の輝度値のヒステリシスループを取得し、

前記第 1 の偏光方向と前記第 2 の偏光方向とのなす前記角度を第 2 角度に設定した場合に、前記磁性体を含む前記試料の前記磁性体の部分に対して、前記偏光した照明光を照明するとともに、前記外部磁場を掃引しながら取得した複数の画像から、前記着目領域毎の前記輝度値のヒステリシスループを取得する第 2 ステップと、

前記装置定数、前記第 1 角度における前記ヒステリシスループ及び前記第 2 角度における前記ヒステリシスループを用いた解析から前記着目領域毎にカー回転の回転角を算出する第 3 ステップと、

30

を備えた視野内補正解析方法。

【請求項 8】

前記第 1 ステップにおいて、

前記検光子は、前記偏光子に対してクロスニコル配置を基準にして前記所定の範囲を回転させる、

請求項 7 に記載の視野内補正解析方法。

【請求項 9】

前記第 1 ステップにおいて、

マリウス則を用いて、前記着目領域毎の前記角度分布、及び、前記 2 乗分布を含む前記装置定数を算出する、

40

請求項 7 または 8 に記載の視野内補正解析方法。

【請求項 10】

前記第 1 ステップにおいて、

前記装置定数は、輝度分布を含み、

前記着目領域毎の前記輝度分布を含む前記装置定数を算出する、

請求項 7 ~ 9 のいずれか 1 項に記載の視野内補正解析方法。

【請求項 11】

前記第 2 ステップにおいて、

前記第 1 角度における前記ヒステリシスループ及び前記第 2 角度における前記ヒステリ

50

シスループを、経験的な近似関数にフィッティングすることにより、前記着目領域毎のコントラスト、保磁力及びスロープを算出する、

請求項 7 ~ 10 のいずれか 1 項に記載の視野内補正解析方法。

【請求項 12】

前記第 3 ステップにおいて、

前記第 1 角度、前記第 2 角度、前記第 1 角度における輝度コントラスト及び前記第 2 角度における輝度コントラストに基づいて、前記着目領域毎の前記回転角を算出する、

請求項 11 に記載の視野内補正解析方法。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

10

【0001】

本発明は、偏光顕微鏡装置及び視野内補正解析方法に関する。

【背景技術】

【0002】

カー (K e r r) 効果顕微鏡及び磁区観察顕微鏡は、古典的な偏光顕微鏡を基にしており、既に、複数のメーカー (M a k e r) から製品化されている。このことは、例えば、非特許文献 1 に記載されている。

【先行技術文献】

【特許文献】

【0003】

20

【特許文献 1】米国特許第 4 4 1 0 2 7 7 号明細書

【特許文献 2】特開 2 0 0 9 - 0 4 2 0 4 0 号公報

【非特許文献】

【0004】

【非特許文献 1】目黒、「局所磁化検出可能なカー効果顕微鏡の開発と空間磁場検出への応用」、顕微鏡、Vol52, No3 (2017).

【非特許文献 2】P. Wolniansky, et.al, "Magneto-optical measurements of hysteresis loop and anisotropy energy constants on amorphous TbxFe1-x alloys", Applied Physics 60, 346 (1986).

【発明の概要】

30

【発明が解決しようとする課題】

【0005】

カー効果顕微鏡は、磁性薄膜等の磁性体を含む試料に対して、外部磁場を掃引しつつレーザ光を入射し、反射光の偏光成分の変化量を計測することで、試料上 1 点の磁気ヒステリシスループ (H y s t e r e s i s L o o p) を得ることができる。一方、磁区観察顕微鏡は、磁性薄膜等の磁性体を含む試料に対して外部磁場を印加し、インコヒーレント光源からの光を偏光子によって偏光光にして試料に入射したときの反射光の偏光成分の変化を画像センサの輝度の変化として記録するものであり、視野内の磁区パターンを記録することが可能である。

【0006】

40

磁区観察顕微鏡でも外部磁場を掃引しながら画素毎に輝度を記録すれば画素毎のヒステリシスループを得られるが、磁区観察顕微鏡では、視野内の偏光特性のばらつきが試料で発生する偏光変化に対して大きい。よって、視野内のヒステリシスループを定量的に評価することが困難であり、磁化特性を高精度に測定することができない。

【0007】

本発明は、上記問題に鑑みてなされたものであり、磁気特性を高精度に測定することができる偏光顕微鏡装置及び視野内補正解析方法を提供する。

【課題を解決するための手段】

【0008】

本発明に係る偏光顕微鏡装置は、照明光を生成する光源と、前記光源で生成された前記

50

照明光が入射され、第1の偏光方向の直線偏光を含む前記照明光を透過させる偏光子と、前記直線偏光を含む前記照明光で試料を照明するとともに、前記照明光が前記試料で反射した反射光を透過させる対物レンズと、前記反射光における第2の偏光方向の直線偏光の成分を透過させる検光子と、前記反射光の画像を取得する画像取得部と、前記試料に印加する外部磁場を生成する磁石と、前記取得した画像を処理する画像処理部と、を備え、前記画像処理部は、前記第1の偏光方向と、前記第2の偏光方向と、のなす角度を所定の範囲内において所定の刻みで回転させながら、非磁性の前記試料、または、磁性体を含む前記試料を磁場印加しない状態で用いることで非磁性鏡面と見なせる試料に対して、前記照明光を照明することにより取得した複数の前記画像から、複数の着目領域を含む視野内の前記着目領域毎の前記偏光回転角度分布、及び、楕円化による楕円率の2乗分布を含む装置定数を算出し、前記第1の偏光方向と前記第2の偏光方向とのなす前記角度を第1角度に設定した場合に、前記磁性体を含む前記試料の前記磁性体の部分に対して、前記照明光を照明するとともに、前記外部磁場を掃引しながら取得した複数の画像から、前記着目領域毎の輝度値のヒステリシスループを取得し、前記第1の偏光方向と前記第2の偏光方向とのなす前記角度を第2角度に設定した場合に、前記磁性体を含む前記試料の前記磁性体の部分に対して、前記照明光を照明するとともに、前記外部磁場を掃引しながら取得した複数の画像から、前記着目領域毎の前記輝度値のヒステリシスループを取得し、前記装置定数、前記第1角度における前記ヒステリシスループ及び前記第2角度における前記ヒステリシスループを用いた解析から前記着目領域毎に試料で発生したカー回転の回転角を算出する。

10

20

【0009】

上記偏光顕微鏡装置では、前記検光子は、前記偏光子に対してクロスニコル配置を基準にして前記所定の範囲を回転させてもよい。

【0010】

上記偏光顕微鏡装置では、前記画像処理部は、マリユス則を用いて、前記着目領域毎の前記角度分布、及び、前記2乗分布を含む前記装置定数を算出してもよい。

【0011】

上記偏光顕微鏡装置では、前記装置定数は、輝度分布を含み、前記画像処理部は、前記着目領域毎の前記輝度分布を含む前記装置定数を算出してもよい。

【0012】

上記偏光顕微鏡装置では、前記画像処理部は、前記第1角度における前記ヒステリシスループ及び前記第2角度における前記ヒステリシスループを、経験的な近似関数にフィッティングすることにより、前記着目領域毎の磁化コントラスト、保磁力及びスロープを算出してもよい。磁化コントラストは、試料に外部磁場を掃引しながら輝度を記録したときの輝度の最大、最小で定義される輝度コントラストを表す。

30

【0013】

上記偏光顕微鏡装置では、前記画像処理部は、前記第1角度、前記第2角度、前記第1角度における前記磁化コントラスト及び前記第2角度における前記磁化コントラストに基づいて、前記着目領域毎の前記回転角を算出してもよい。

【0014】

本発明に係る視野内補正解析方法は、照明光を生成する光源と、前記光源で生成された前記照明光が入射され、第1の偏光方向の直線偏光を含む前記照明光を透過させる偏光子と、前記直線偏光を含む前記照明光で試料を照明するとともに、前記照明光が前記試料で反射した反射光を透過させる対物レンズと、前記反射光における第2の偏光方向の直線偏光の成分を透過させる検光子と、前記反射光の画像を取得する画像取得部と、前記試料に印加する外部磁場を生成する磁石と、前記取得した画像を処理する画像処理部と、を備えた偏光顕微鏡装置を用いた視野内補正解析方法であって、前記第1の偏光方向と、前記第2の偏光方向と、のなす角度を所定の範囲内において所定の刻みで回転させながら、非磁性の前記試料、または、磁性体を含む前記試料を磁場印加しない状態で用いることで非磁性鏡面と見なせる試料に対して、前記照明光を照明することにより取得した複数の前記画

40

50

像から、複数の着目領域を含む視野内の前記着目領域毎の前記偏光回転角度分布、及び、楕円化による楕円率の2乗分布を含む装置定数を算出する第1ステップと、前記第1の偏光方向と前記第2の偏光方向とのなす前記角度を第1角度に設定した場合に、前記磁性体を含む前記試料の前記磁性体の部分に対して、前記照明光を照明するとともに、前記外部磁場を掃引しながら取得した複数の画像から、前記着目領域毎の輝度値のヒステリシスループを取得し、前記第1の偏光方向と前記第2の偏光方向とのなす前記角度を第2角度に設定した場合に、前記磁性体を含む前記試料の前記磁性体の部分に対して、前記照明光を照明するとともに、前記外部磁場を掃引しながら取得した複数の画像から、前記着目領域毎の前記輝度値のヒステリシスループを取得する第2ステップと、前記装置定数、前記第1角度における前記ヒステリシスループ及び前記第2角度における前記ヒステリシスループを用いた解析から前記着目領域毎に試料で発生したカー回転の回転角を算出する第3ステップと、を備える。

10

【0015】

上記視野内補正解析方法では、前記第1ステップにおいて、前記検光子は、前記偏光子に対してクロスニコル配置を基準にして前記所定の範囲を回転させてもよい。

【0016】

上記視野内補正解析方法では、前記第1ステップにおいて、マリウス則を用いて、前記着目領域毎の前記角度分布、及び、前記2乗分布を含む前記装置定数を算出してもよい。

【0017】

上記視野内補正解析方法では、前記第1ステップにおいて、前記装置定数は、輝度分布を含み、前記着目領域毎の前記輝度分布を含む前記装置定数を算出してもよい。

20

【0018】

上記視野内補正解析方法では、前記第2ステップにおいて、前記第1角度における前記ヒステリシスループ及び前記第2角度における前記ヒステリシスループを、経験的な近似関数にフィッティングすることにより、前記着目領域毎のコントラスト、保磁力及びスロープを算出してもよい。

【0019】

上記視野内補正解析方法では、前記第3ステップにおいて、前記第1角度、前記第2角度、前記第1角度における前記磁化コントラスト及び前記第2角度における前記磁化コントラストに基づいて、前記着目領域毎の前記回転角を算出してもよい。

30

【発明の効果】

【0020】

本発明により、視野内の磁化特性を高精度に測定することができる偏光顕微鏡装置及び視野内補正解析方法を提供する。

【図面の簡単な説明】

【0021】

【図1】比較例に係る磁区顕微鏡等の偏光顕微鏡装置を例示した構成図である。

【図2】比較例に係る磁区顕微鏡等の偏光顕微鏡装置において、カー効果を例示した模式図である。

【図3】比較例に係る磁区顕微鏡等の偏光顕微鏡装置によって測定した視野内の5つの着目領域におけるヒステリシスループを例示したグラフであり、横軸は、外部磁場を示し、縦軸は、輝度値を示す。

40

【図4】比較例に係る磁区顕微鏡等の偏光顕微鏡装置で測定した視野内の5つのROIにおけるヒステリシスループを各ROIの輝度値の平均で規格化し、さらに視野中心のROIにおける平均で規格化したものである。

【図5】比較例に係るスポット計測器で測定した視野内の5つのROIにおけるヒステリシスループを例示したグラフであり、横軸は、外部磁場を示し、縦軸は、視野中心のROIにおける平均値で規格化した物理量のカー回転の回転角を示す。

【図6】実施形態1に係る偏光顕微鏡装置を例示した構成図である。

【図7】実施形態1に係る視野内補正解析方法を例示したフローチャート図である。

50

【図 8】実施形態 1 に係る視野内補正解析方法を例示したフローチャート図である。

【図 9】実施形態 1 に係る視野内補正解析方法を例示したフローチャート図である。

【図 10】実施形態 1 に係る偏光顕微鏡装置が取得した画像を例示した図である。

【図 11】実施形態 1 に係る偏光顕微鏡装置が取得した複数の画像から、ROI 毎に検光子透過角度データに変換することを説明する図である。

【図 12】実施形態 1 に係る偏光顕微鏡装置が取得した検光子透過角度データを例示したグラフであり、横軸は、検光子の偏光方向の角度を示し、縦軸は輝度値を示す。

【図 13】(a) ~ (c) は、実施形態 1 に係る偏光顕微鏡装置 1 において、輝度 μ ラ a (x 、 y) の分布、偏光回転角度 θ_0 (x 、 y) の分布、及び、楕円率 e の 2 乗 e^2 (x 、 y) の分布を例示した図である。

【図 14】(a) は、実施形態 1 に係る偏光顕微鏡装置が取得した複数の ROI を含む画像を例示した図であり、(b) は、実施形態 1 に係る偏光顕微鏡装置が取得した画像から ROI 毎に抽出されたヒステリシスループを例示したグラフであり、横軸は、外部磁場を示し、縦軸は、輝度値を示す。

【図 15】実施形態 1 に係る偏光顕微鏡装置が取得したヒステリシスループ及びフィッティングする関数を例示したグラフであり、横軸は、外部磁場を示し、縦軸は、輝度値を示す。

【図 16】実施形態 1 に係る視野内補正解析方法で用いる数式を例示した図である。

【図 17】実施形態 1 に係る偏光顕微鏡装置によって取得されるコントラスト C (x 、 y)、保磁力 H_c (x 、 y)、及び、スロープ (x 、 y) の定義を例示したグラフである。

【図 18】実施形態 1 に係る偏光顕微鏡装置によって取得されるコントラスト C (x 、 y)、保磁力 H_c (x 、 y)、及び、スロープ (x 、 y) の定義を例示したグラフである。

【図 19】実施形態 1 に係る偏光顕微鏡装置において、外部磁場を印加しない場合の偏光面の回転及び楕円化を例示した図である。

【図 20】ビームスプリッタがない状態において、試料で反射した反射光が画像取得部の撮像面に到達するまでの光路を例示した図である。

【図 21】ビームスプリッタがある状態において、試料で反射した反射光が画像取得部の撮像面に到達するまでの光路を例示した図である。

【図 22】実施形態 1 に係る偏光顕微鏡装置において、外部磁場を印加した場合の偏光面の回転及び楕円化を例示した図である。

【図 23】(a) は、検光子の偏光方向の角度を +4 度に設定した場合のヒステリシスループの高低グレイレベル差レンジを視野中心のグレイレベルで規格化したものであり、(b) は、ヒステリシスループのコントラストを単純に平均輝度値で除し、視野中心での値を基準に規格化したものであり、(c) は、実施形態 1 に係る偏光顕微鏡装置が取得した試料の磁化コントラストの分布を例示した図であり、(d) は、スポット計測器が取得した磁化コントラストの分布を例示した図である。

【図 24】(a) ~ (c) は、実施形態 1 に係る偏光顕微鏡装置 1 の定量解析の結果を例示した図であり、(d) ~ (f) は、スポット計測の結果を例示した図である。

【図 25】実施形態 1 に係る偏光顕微鏡装置及び視野内補正解析方法の特徴を例示した図である。

【発明を実施するための形態】

【0022】

説明の明確化のため、以下の記載及び図面は、適宜、省略、及び簡略化がなされている。また、各図面において、同一の要素には同一の符号が付されており、必要に応じて重複説明は省略されている。

【0023】

(比較例)

実施形態 1 に係る偏光顕微鏡装置を説明する前に、比較例に係る偏光顕微鏡及びその課題を説明する。これにより、本実施形態の偏光顕微鏡をより明確にする。なお、比較例の構成及び課題も、実施形態の技術思想の範囲に含まれる。

10

20

30

40

50

【0024】

図1は、比較例に係る磁区顕微鏡等の偏光顕微鏡装置を例示した構成図である。図1に示すように、比較例に係る偏光顕微鏡装置101は、光源(Light Source)10、レンズ11、偏光子(Polarizer)12、ビームスプリッタ(Beam Splitter)13、対物レンズ(Objective Lens)14、試料台(Stage)15、磁石(Magnet)16、検光子(Analyzer)17、イメージングレンズ(Imaging Lens)18、画像取得部19を備えている。試料台15上には、試料(Sample)20が配置されている。

【0025】

ここで、偏光顕微鏡装置101の説明の便宜のために、XYZ直交座標軸系を導入する。例えば、試料台15の上面に直交する方向をZ軸方向とし、試料台15の上面に平行な面をXY平面とする。以下で、各構成を説明する。

【0026】

光源10は、照明光21を生成する。光源10は、例えば、ハロゲンランプ、白色LED(Light Emitting Diode)等である。照明光21は、白色光でもよい。光源10は、生成した照明光21を偏光子12に対して出射する。光源10と偏光子12との間にレンズ11を配置させてもよい。レンズ11によって平行光に変換された照明光21は、偏光子12に入射する。

【0027】

偏光子12は、照明光21の照明瞳23またはその近傍に配置されている。偏光子12には、光源10で生成された照明光21が入射される。偏光子12は、入射した照明光21を、直線偏光を含む照明光21に変換する。例えば、偏光子12は、第1の偏光方向の直線偏光を含む照明光を透過させる。例えば、第1の偏光方向は、Z軸方向である。この場合には、偏光子12は、Z軸方向の直線偏光を含むように照明光21を変換する。つまり、偏光子12の透過軸は、Z軸方向である。偏光子12によって直線偏光を含むように変換された照明光21は、ビームスプリッタ13に入射する。

【0028】

ビームスプリッタ13は、入射した照明光21の一部を対物レンズ14に対して反射させる。ビームスプリッタ13で反射した照明光21は、例えば、X軸方向の直線偏光を含むようになる。対物レンズ14は、ビームスプリッタ13と試料20との間に配置されている。対物レンズ14の瞳面(Pupil Plane)24の位置またはその近傍に配置されている。対物レンズ14は、ビームスプリッタ13で反射した照明光21を試料に集光する。対物レンズ14は、直線偏光を含む照明光21を試料20を照明する。尚、本発明における磁性薄膜試料は非パターン薄膜試料ないしは十分に大きなサイズ(例えば数100um)の島パターンである。

【0029】

試料20は、磁性薄膜等の磁性体を含む。試料20は、例えば、ウェハ(Wafer)上に成膜された磁性薄膜でもよい。また、試料20は、MRAM(Magnetoresistive Random Access Memory)に用いられる磁性薄膜でもよい。試料台15上に配置された試料20の磁性体は、例えば、Z軸方向の外部磁場を印加されてもよい。外部磁場の方向が上向きまたは下向きに変化する場合に、磁性体の磁化方向が上向きまたは下向きに変化してもよい。なお、後述するキャリブレーションにおける試料20は、非磁性の試料20でもよい。

【0030】

磁石16は、試料20と対物レンズ14との間に配置されている。磁石16は、例えば、試料上への磁場強度、方向を変調できる電磁石である。なお、磁石16は、永久磁石でもよい。磁石16は、試料20に印加する外部磁場を生成する。これにより、磁石16は、試料20に対して外部磁場を印加する。例えば、MRAMの垂直磁気異方性材料で構成されたフリー(Free)層を検査する場合には、Polar Kerr Effect(極カー効果と呼ぶ。)を検出する。そのため、磁石16は、試料20の表面に対して垂

10

20

30

40

50

直方向の磁場を印加する。磁石 16 が電磁石の場合には、電磁石に流す電流値、方向を制御することにより、+Z 方向から -Z 方向の所定範囲の外部磁場を試料 20 に印加する。

【0031】

また、極カー効果を検出するためには、試料 20 に入射する入射光は、試料 20 の表面に対して垂直入射であり、電場の振動方向が XY 面内にある直線偏光が必要となる。試料 20 は外部磁場の磁場強度 (H) に応じてカー効果によって、偏光状態が僅かに変化する。カー効果は、偏光軸の回転 (Kerr Rotation、カー回転と呼ぶ。) とカー楕円化 (Kerr Ellipticity) を含んでいる。

【0032】

図 2 は、比較例に係る磁区顕微鏡等の偏光顕微鏡装置において、カー効果を例示した模式図である。図 2 に示すように、カー効果は、偏光軸の回転の回転角 (偏光方向の回転の回転角とも呼ぶ) と、楕円率の変化を含む楕円化と、を含んでいる。楕円率の変化は、例えば、 $\tan^{-1}(OB/OA)$ である。ここで、OA は短半径、OB は長半径である。試料 20 で反射した反射光 22 は、試料 20 によるカー効果によって偏光状態に変調を受けている。

10

【0033】

図 1 に戻り、試料 20 で反射した反射光 22 は、対物レンズ 14 に入射する。対物レンズ 14 は、照明光 21 が試料 20 で反射した反射光 22 を透過させる。反射光 22 は、対物レンズ 14 及びビームスプリッタ 13 を透過して検光子 17 に入射する。

【0034】

検光子 17 は、ビームスプリッタ 13 と画像取得部 19 との間に配置されている。検光子 17 は、反射光 22 における第 2 の偏光方向の直線偏光の成分を透過させる。第 2 の方向は、例えば、Y 軸方向である。この場合には、検光子 17 は、Y 軸方向の直線偏光を含むように反射光 22 を変換する。つまり、検光子 17 の透過軸は、Y 軸方向である。検光子 17 が透過させる直線偏光の方向 (透過軸) は、偏光子 12 が透過させる直線偏光の方向 (透過軸) に対して直交するように配置されてもよい。例えば、偏光子 12 が透過させる直線偏光の方向は、X 軸方向であり、検光子 17 が透過させる直線偏光の方向は Y 軸方向でもよい。このように、検光子 17 の透過軸が偏光子 12 の透過軸に対して直交する配置をクロスニコル (Cross Nicole) 配置と呼ぶ。クロスニコル配置は、直線偏光を含む偏光光の変化を輝度変化として高感度に検出することができる。試料 20 で僅かに回転及び楕円化した偏光光を含む反射光 22 は、検光子 17 の透過軸に射影した振幅の 2 乗強度が透過する。検光子 17 を透過した反射光 22 は、例えば、イメージングレンズ 18 を介して、画像取得部 19 に入射する。

20

【0035】

画像取得部 19 は、反射光 22 の偏光成分の変化を強度の変化として検出する。これにより、画像取得部 19 は、反射光 22 の画像を取得する。例えば、画像取得部 19 は、視野内の画像を取得する。画像取得部 19 は、例えば、カメラである。画像取得部 19 は、例えば、PD (Photodiode) アレイ (Array) を含むイメージセンサ (Image Sensor) でもよい。なお、画像取得部 19 は、画像を取得できれば、カメラ、イメージセンサーに限らない。画像取得部 19 の撮像面 26 は、試料 20 の測定面 25 と像共役 (Image conjugate) の関係となっている。

30

40

【0036】

ここで、前述の MRAM 向けの試料 20 で発生する偏光方向の回転の回転角は、典型的には、0.1 度以下である。また、楕円率の変化も回転角と同じレベルの僅かな変化である。楕円率は、楕円の扁平度を \arctan で定義した楕円率角 (角度量) である。磁区顕微鏡は、視野内の磁区 (Pattern) に着目する顕微鏡である。よって、磁区顕微鏡は、視野内の磁区の視認ができれば十分であり、回転角及び楕円率の変化の定量値には着目していない。また、磁区顕微鏡は、視野内の場所間の視認性 (Pattern Contrast) の定量解析誤差に着目していない。

【0037】

50

図1の右上に示すように、MRAMの試料20の場合には、回転角及び楕円率の変化は、装置(Tool)による誤差に比べて、1桁以上小さく、試料で発生したカー効果を検出することが困難であるからである。一方、通常の磁性試料の場合には、装置(Tool)による誤差に比べて、試料で発生するカー効果が大きいので、カー効果を検出することができる。

【0038】

まず、以降の説明において、基準となる装置である、レーザ光を用いたスポット(Spot)計測を説明する。これもよく知られた装置であり、多くの製品も市場にある。以下では、スポット計測を行う装置をスポット計測器と呼ぶ。

【0039】

スポット計測器は、差動偏光法により計測するものである。スポット計測器は、試料に直線偏光を含むレーザ光を入射させ、試料に印加する磁場を掃引する。そして、スポット計測器は、磁場を掃引しながら、試料で変調を受けた偏光光を含む反射光を偏光分離プリズムでs偏光、p偏光に分岐する。これにより、スポット計測器の2つのフォトディテクタ(Photo Detector)によるロックイン(Lock-in)差分処理によって、試料で発生したカー回転(Kerr rotation)における回転角を計測する。したがって、横軸に磁場をプロットし、縦軸に回転角をプロットすることで、ヒステリシスループを得ることができる。一般に、MOKE装置(Magneto-optical Kerr Effect)、カー効果測定装置と言うのはこちらを指す。得られるヒステリシスループは、物理量を計測しているため、磁性薄膜の定量特性を評価することが可能である。また、試料を移動させながら評価位置を変える方式であり、光学系の中心しか使用していなく、且つ、反射光束の全てをフォトディテクタで検出しているために、評価位置に装置誤差は含まれない。

【0040】

ところで、前述の磁区顕微鏡において、外部磁場を掃引しながら画像を取得した場合に、横軸に外部磁場をプロットし、縦軸に輝度値をプロットすると、ヒステリシスループを得ることができる。このようにして得られたヒステリシスループは、レーザ光を用いたスポット計測でのヒステリシスループと凡そ相関する。磁区顕微鏡も1つの機能として、ヒステリシスループを得ることができる。しかしながら、磁区顕微鏡におけるヒステリシスループを得る機能は、あくまでも目安である。例えば、磁区顕微鏡において、視野内の複数の異なる測定座標で取得したヒステリシスループは、測定座標間で相互に大きな差(誤差)が出ることを発明者は見出した。このことを以下の図3を用いて説明する。

【0041】

図3は、比較例に係る磁区顕微鏡等の偏光顕微鏡装置によって測定した視野内の5つの着目領域(Region of Interest、以下、ROIと呼ぶ。)におけるヒステリシスループを例示したグラフであり、横軸は、外部磁場を示し、縦軸は、輝度値を示す。図3において、5つのROIは、視野内における視野中心CE、視野右上UR、視野左上UL、視野右下LR、及び視野左下LLを含む。

【0042】

図4は、比較例に係る磁区顕微鏡等の偏光顕微鏡装置で測定した視野内の5つのROIにおけるヒステリシスループを各ROIの輝度値の平均で規格化し、さらに視野中心CEのROIにおける平均で規格化したものである。図4には、規格化後の値を表にして示している。すなわち、各ROIにおける輝度値の最大値と最小値との差、及び、視野中心CEに対する各ROIの輝度値の平均の比を示している。

【0043】

図5は、比較例に係るスポット計測器で測定した視野内の5つのROIにおけるヒステリシスループを例示したグラフであり、横軸は、外部磁場を示し、縦軸は、視野中心CEのROIにおける平均値で規格化した物理量のカー回転の回転角を示す。図5には、規格化後の値を表にして示している。すなわち、各ROIにおけるカー回転の回転角、及び、視野中心CEに対する比を示している。

10

20

30

40

50

【 0 0 4 4 】

図 4 に示すように、磁区顕微鏡では、視野内の各 R O I の磁化コントラストは、 $\pm 20\%$ 程度のばらつきを有している。一方、図 5 に示すように、スポット計測器では、視野内の各 R O I の回転角は、 $\pm 5\%$ 程度のばらつきを有している。このように、磁区顕微鏡では、視野内の各 R O I の磁化コントラストにおけるばらつきは、ヒステリシスループを定量的に検知評価することを困難にしている。

【 0 0 4 5 】

したがって、磁区顕微鏡の視野内の位置 (R O I の座標ないしは像高) 毎に、磁化コントラストのばらつき (誤差) を補正できれば、視野内の局所ヒステリシスループを定量的に扱うことができる。よって、磁区顕微鏡を用いた面 (2 次元) での局所ヒステリシスループの計測を成立させる。これは、レーザ光を用いたスポット計測器に対して、処置時間が大きく改善することを意味する。本実施形態は、このような磁区顕微鏡等の偏光顕微鏡装置を用いた面 (2 次元) での局所ヒステリシスループの計測を行う。以降では、このような計測をイメージング M O K E (I m a g i n g M O K E) と呼ぶ。

【 0 0 4 6 】

(実施形態 1)

次に、実施形態 1 に係る偏光顕微鏡装置及び視野内補正解析方法を説明する。図 6 は、実施形態 1 に係る偏光顕微鏡装置を例示した構成図である。図 6 に示すように、本実施形態の偏光顕微鏡装置 1 は、比較例の偏光顕微鏡装置 1 0 1 の構成に加えて、画像処理部 3 0 をさらに備えている。画像処理部 3 0 は、画像取得部 1 9 が取得した画像を処理する。例えば、画像処理部 3 0 は、下記に示す偏光顕微鏡装置 1 を用いた視野内補正解析方法における画像処理を行う。

【 0 0 4 7 】

図 7 ~ 図 9 は、実施形態 1 に係る視野内補正解析方法を例示したフローチャート図である。本実施形態の視野内補正解析方法は、図 7 に示す (i) 磁場掃引なしでの事前キャリブレーション、図 8 に示す (i i) 磁性体を含む試料での磁場掃引による画像取得と R O I 毎の解析、図 9 に示す (i i i) (i) 及び (i i) の計測データと物理モデル式によるカー効果の補正処理、の 3 つの構成を有している。尚、以降の説明では、回転方向を、光の進行方向から見て時計回り (C W) を「 + 」、反時計回り (C C W) を「 - 」と定義する。

【 0 0 4 8 】

< (i) 磁場掃引なしでの事前キャリブレーション >

事前キャリブレーションにおいて、まず、試料台 1 5 に鏡面試料を配置する (図 7 のステップ S 1 1)。鏡面試料は、パターンニングしていない磁化薄膜でもよいし、シリコンウエハ等でもよい。このように、鏡面試料として、非磁性の試料 2 0 を配置してもよいし、照明光 2 1 を磁場印加しない状態でパターンニングされていない磁性薄膜を非磁性の鏡面試料としての試料 2 0 を配置してもよい。

【 0 0 4 9 】

次に、偏光子 1 2 と検光子 1 7 とをクロスニコル配置となるように位置を調整する (図 7 のステップ S 1 2)。典型的には、試料台 1 5 の上面において、照明光 2 1 に含まれる偏光光の偏光方向が X 軸方向または Y 軸方向のどちらかの方向、例えば、X 軸方向と一致するようにする。

【 0 0 5 0 】

次に、偏光子 1 2 の偏光方向を固定する。例えば、偏光子 1 2 の偏光方向を、試料台 1 5 の上面において、X 軸方向となるように固定する。この場合には、クロスニコル配置とされた検光子 1 7 の位置において、画像取得部 1 9 が取得する画像の輝度は、低くなる。このときの検光子 1 7 の位置をゼロ (z e r o) 点して設定する。以下、ゼロ点における検光子 1 7 の偏光方向の角度 α を 0 度と定義する。なお、角度 α の α は、の添え字である。

【 0 0 5 1 】

10

20

30

40

50

次に、偏光子 12 の偏光方向と、検光子 17 の偏光方向と、のなす角度を所定の範囲内において所定の刻みで回転させながら、鏡面試料に対して、照明光 21 を照明する。これにより、複数の画像を取得する（図 7 のステップ S 13）。偏光子 12 の偏光方向と、検光子 17 の偏光方向と、のなす角度の所定の範囲は、例えば、 ± 10 度程度の範囲内であり、所定の刻みは、例えば、1 度である。その場合には、 ± 10 度程度の範囲内で、1 度刻みで回転させながら、21 枚の画像を取得する。なお、所定の範囲は、 ± 10 度程度に限らない。また、所定の刻みは、1 度に限らない。さらに、取得する画像の枚数は、21 枚に限らない。

【0052】

図 10 は、実施形態 1 に係る偏光顕微鏡装置 1 が取得した画像を例示した図である。図 10 では、簡単のため、11 枚の画像を示している。図 10 に示すように、ゼロ点における検光子 17 の偏光方向の角度 $\alpha = 0$ のクロスニコル配置の場合に、原理的に、輝度値が最小になる。

10

【0053】

次に、取得した複数の画像から、複数の ROI を含む視野内の ROI 毎に、検光子 17 を透過した検光子透過角度データ (Through angle of analyzer data) のデータ群を算出し、演算処理を行う（図 7 のステップ S 14）。

【0054】

図 11 は、実施形態 1 に係る偏光顕微鏡装置 1 が取得した複数の画像から、ROI 毎に検光子透過角度データに変換することを説明する図である。図 11 に示すように、複数の画像から、ROI 毎に検光子透過角度データに変換する。ここで、ROI は、1 画素ではなく、ノイズを低減するために、例えば、矩形 (10 画素 \times 10 画素) または円形 (20 画素) 等でビニング (binning) 処理することが望ましい。なお、図が煩雑にならないように、いくつかの符号は省略されている。

20

【0055】

図 12 は、実施形態 1 に係る偏光顕微鏡装置 1 が取得した検光子透過角度データを例示したグラフであり、横軸は、検光子 17 の偏光方向の角度 α を示し、縦軸は ROI 内の平均輝度値 (Gray Level) を示す。図 12 に示すように、検光子 17 の偏光方向の角度 α が小さいほど、輝度値が小さい傾向を有している。しかしながら、ROI 毎に輝度値が最も小さくなる位置は、角度 $\alpha = 0$ から ROI 毎にずれている。最も小さくなる角度 α を偏光回転角度 α_0 と呼ぶ。

30

【0056】

次に、ROI 毎の検光子透過角度データを所定の関数にフィッティング (Fitting) する。後述するが、フィッティングに用いる関数は、偏光光学分野ではよく知られたマリウス (Malus) 則またはそれに準じたものである（図 7 のステップ S 15）。

【0057】

図 13 (a) ~ (c) は、実施形態 1 に係る偏光顕微鏡装置 1 において、輝度ムラ $a(x, y)$ の分布、偏光回転角度 $\alpha_0(x, y)$ の分布、及び、楕円率 $e^2(x, y)$ の分布を例示した図である。図 13 に示すように、ROI 毎の検光子透過角度データを所定の関数でフィッティングすることにより、ROI 毎の輝度ムラ $a(x, y)$ の分布、偏光回転角度 $\alpha_0(x, y)$ の分布、及び、楕円率 $e^2(x, y)$ の分布を算出することができる（図 7 のステップ S 16）。ROI 毎の輝度ムラ $a(x, y)$ の分布、偏光回転角度 $\alpha_0(x, y)$ の分布、及び、楕円率 $e^2(x, y)$ の分布を、以降の説明において、装置関数、または、装置定数と呼ぶ。

40

【0058】

このように、画像処理部 30 は、偏光子 12 の偏光方向と、検光子 17 の偏光方向と、のなす角度を所定の範囲内において所定の刻みで回転させながら、非磁性の試料 20、または、磁性体を含む試料 20 に磁場印加しないで非磁性の鏡面試料として用いた試料に対して、照明光 21 を照明することにより複数の画像を取得する。そして、画像処理部 30 は、取得した複数の画像から、複数の ROI を含む視野内の ROI 毎の輝度ムラ分布、偏

50

光回転角度分布、及び、楕円化による楕円率の2乗分布を含む装置定数を算出する。

【0059】

この際に、検光子17は、偏光子12に対してクロスニコル配置を基準にして所定の範囲を回転させてもよい。また、画像処理部30は、マリユス則を用いて、ROI毎の装置定数(装置関数)を算出してもよい。さらに、検光子17の方位を固定にして、偏光子12を所定の範囲で回転させてデータを取得しても等価であることは言うまでもない。

【0060】

<(ii)磁場掃引による画像取得とROI毎の解析>

次に、磁場掃引による画像取得とROI毎の解析を説明する。まず、試料台15に評価する磁性体を含む試料20を配置させる(図8のステップS21)。試料20は、例えば、磁性薄膜が形成されたウェハである。

【0061】

次に、偏光子12及び検光子17をクロスニコル配置に調整し、ゼロ点に設定する(図8のステップS22)。その後、検光子17の偏光方向の角度 α を、前述のキャリブレーションの角度範囲内のいずれかの角度 α_1 に設定する(図8のステップS23)。角度 α_1 は、通常は、例えば、5度程度が使われる。

【0062】

次に、評価する試料20の保磁力 H_c の ± 10 倍程度(余裕を持って飽和磁化に達するレベル)で磁場掃引しながら画像を取得する(図8のステップS24)。この際、十分な時間分解能で画像を取得する。磁石16が電磁石の場合には、磁場の制御値及び画像取得部19の撮像時刻は、タイムスタンプ(Timestamp)で紐付けされる。画像取得の刻みは、ヒステリシスループの立ち上がり/立ち下りスロープ(Slope)の中に数点の測定点が入るように、1画像あたりの露光時間(Exposure time)、フレームレート(Frame rate)、磁場掃引時間を設定する。

【0063】

図14(a)は、実施形態1に係る偏光顕微鏡装置1が取得した複数のROIを含む画像を例示した図である。図14(b)は、実施形態1に係る偏光顕微鏡装置1が取得した画像からROI毎に抽出されたヒステリシスループを例示したグラフであり、横軸は、外部磁場を示し、縦軸は、輝度値を示す。図11(a)及び(b)に示すように、取得した画像をROI毎に、磁場を掃引したデータの磁場掃引データ(Through Magnetic field)群を演算処理する(図8のステップS25)。ROI座標、ROI内の画素ビニング処理は、キャリブレーションと揃えることが望ましい。演算処理したデータ群を、横軸に磁場をプロットし、縦軸に輝度値をプロットすることにより、図14(b)に示すように、ROI毎に無補正のヒステリシスループを取得することができる。

【0064】

次に、ROI毎のヒステリシスループを近似関数でフィッティングする。図15は、実施形態1に係る偏光顕微鏡装置1が取得したヒステリシスループ計測値及びそのフィッティング関数曲線を例示したグラフであり、横軸は、外部磁場を示し、縦軸は、輝度値を示す。図15に示すように、取得したROI毎のヒステリシスループを近似関数でフィッティングする。近似関数は、経験的関数(Empirical function)でもよい。近似関数は、物理モデル式でなくてもよい。

【0065】

図16は、実施形態1に係る視野内補正解析方法で用いる数式を例示した図である。図16に示すように、本実施形態では、以下の(0)式で、図14及び図15に示したROI毎のヒステリシスループをフィッティングする。

【0066】

$$I = D + R \tanh(H \pm H_c) \quad (0)$$

【0067】

このフィッティングにより、ヒステリシスループの形状から、ROI毎に、コントラスト(Contrast): $C(x, y)$ 、保磁力: $H_c(x, y)$ 、スロープ(Slope

10

20

30

40

50

e) : (x, y) という磁化指標での視野内マップ (Map) を得ることができる (図 8 のステップ S 26)。

【0068】

図 17 及び図 18 は、実施形態 1 に係る偏光顕微鏡装置 1 によって取得されるコントラスト $C(x, y)$ 、保磁力 $H_c(x, y)$ 、及び、スロープ (x, y) の定義を例示したグラフである。図 17 に示すように、コントラスト $C(x, y)$ は、ヒステリシスループに (0) 式をフィッティングした場合のレンジ R 及びブライトネス D から、コントラスト $C = 0.5 * (R / D)$ により算出することができる。ここで、レンジ R は、プラス側の飽和磁化状態の輝度値と、マイナス側の飽和磁化状態の輝度値との差である。ブライトネス D は、プラス側とマイナス側の飽和磁化状態の平均輝度値である。

10

【0069】

保磁力 $H_c(x, y)$ は、図 17 及び図 18 に示すように、ヒステリシスループの 2 つの飽和磁化の中間値とヒステリシスループとの交点から求められる。スロープ (x, y) は、図 17 及び図 18 に示すように、ヒステリシスループの立ち上がりの傾斜から求められる。なお、スロープを、スティーブネスとも呼ぶ。

【0070】

このように、本実施形態の (ii) では、画像処理部 30 は、偏光子 12 の偏光方向と、検光子 17 の偏光方向とのなす角度を角度 θ_1 に設定した場合に、磁性体を含む試料 20 の磁性体の部分に対して、照明光 21 を照明するとともに、外部磁場を掃引しながら複数の画像を取得する。そして、画像処理部 30 は、取得した複数の画像から、ROI 毎の輝度値のヒステリシスループを取得する。画像処理部 30 は、さらに、ROI (x, y) 毎にヒステリシスループを、経験的な近似関数にフィッティングすることにより、ROI (x, y) 毎のコントラスト $C(x, y)$ 、保磁力 $H_c(x, y)$ 、及びスロープ (x, y) を算出する。検光子 17 の偏光方向の角度 θ_1 の場合のコントラスト $C_1(x, y)$ 、保磁力 $H_{c1}(x, y)$ 、及び、スロープ $\theta_1(x, y)$ と呼ぶ。

20

【0071】

次に、検光子 17 の偏光方向の角度 θ_a を、角度 θ_1 とは異なる角度 θ_2 に設定する (ステップ S 27)。 θ_2 は前述のキャリブレーションの角度範囲内のいずれかの角度である。例えば、 $\theta_2 = -\theta_1$ などであるが、キャリブレーションの角度範囲内であれば特に限定はない。次に、角度 θ_1 の場合と同様に、評価する試料 20 の保磁力 H_c の ± 10 倍程度で磁場掃引しながら画像を取得する (図 8 のステップ S 28)。この際、十分な時間分解能で画像を取得する等、画像取得の操作を角度 θ_1 の場合と同様にする。そして、取得した画像を ROI 毎に、磁場掃引データ群を演算処理する (図 8 のステップ S 29)。そして、ROI 毎のヒステリシスループを近似関数でフィッティングすることにより、ROI 毎に、コントラスト $C(x, y)$ 、保磁力 $H_c(x, y)$ 、スロープ (x, y) を得ることができる (図 8 のステップ S 30)。

30

【0072】

このように、本実施形態の (ii) では、画像処理部 30 は、偏光子 12 の偏光方向と、検光子 17 の偏光方向とのなす角度を角度 θ_2 に設定した場合にも、磁性体を含む試料 20 の磁性体の部分に対して、照明光 21 を照明するとともに、外部磁場を掃引しながら複数の画像を取得する。そして、画像処理部 30 は、取得した複数の画像から、ROI 毎の輝度値のヒステリシスループを取得する。画像処理部 30 は、さらに、ROI (x, y) 毎にヒステリシスループを、経験的な近似関数にフィッティングすることにより、ROI (x, y) 毎のコントラスト $C(x, y)$ 、保磁力 $H_c(x, y)$ 、及び、スロープ (x, y) を算出する。検光子 17 の偏光方向の角度 θ_2 の場合のコントラスト $C(x, y)$ 、保磁力 $H_c(x, y)$ 、及び、スロープ (x, y) を、それぞれ、コントラスト $C_2(x, y)$ 、保磁力 $H_{c2}(x, y)$ 、及び、スロープ $\theta_2(x, y)$ と呼ぶ。

40

【0073】

コントラスト $C(x, y)$ 、保磁力 $H_c(x, y)$ 、スロープ (x, y) は、ヒステ

50

リシスループの重要かつ特徴的形狀を示している。いずれも、例えば、RAMデバイスとしての最終性能（動作速度、消費電力、信頼性）に関連する指標である。尚、この3つの指標以外に、他の指標を定義しても構わない。発明者による解析によると、磁化反転が発生する外部磁場の指標である保磁力 $H_c(x, y)$ は、補正なしで、スポット計測とほぼ相似の結果が得られる。しかしながら、飽和磁化量 $M_s(x, y)$ は磁化コントラストに相関する特性量であるが、前述の比較例における図3及び図4で説明したように、スポット計測との乖離が大きく補正が必要である。また、スロープ (x, y) は、保磁力 $H_c(x, y)$ と $M_s(x, y)$ とが混ざったような指標であり、やはり補正が必要である。

【0074】

10

< (i i i) 計測データ及び物理モデル式を用いた補正処理 >

次に、物理モデル式を用いて $ROI(x, y)$ 毎に、偏光方向の回転の回転角 (x, y) を算出する（図9のステップS31）。具体的には、画像処理部30は、装置定数、角度 θ_1 におけるヒステリシスループ及び角度 θ_2 におけるヒステリシスループを用いた解析から ROI 毎にカー回転の回転角 (x, y) を算出する。物理モデル式を図16の(1)式及び(2)式に示す。また、下記にも(1)式及び(2)式を示すが、紙面の関係上、(1)式を分割して(1-1)~(1-4)式に示す。

【0075】

$$P_1 = C_2(x, y) \{ (1 - 2^2(x, y)) \sin^2(\theta_2 - (x, y)) + 2^2(x, y) \} \quad (1-1)$$

$$P_2 = A C_1(x, y) \{ (1 - 2^2(x, y)) \sin^2(\theta_1 - (x, y)) + 2^2(x, y) \} \quad (1-2)$$

$$P_3 = (1 - 2^2(x, y)) \{ \sin(2(\theta_2 - (x, y))) - A \sin(2(\theta_1 - (x, y))) \} \quad (1-3)$$

$$P_4 = (1 - 2^2(x, y)) \{ \sin(2(\theta_2 - (x, y))) - A \sin(2(\theta_1 - (x, y))) \} \quad (1-4)$$

20

【0076】

ここで、(1)式並びに(1-3)式、(1-4)式のAは、以下の(2)式である。

30

【0077】

$$A = \{ 1 + \cos(2(\theta_1 - (x, y))) \} / \{ 1 + \cos(2(\theta_2 - (x, y))) \} \quad (2)$$

【0078】

(1)式及び(2)式の説明と導出は、実施例で示す。(i i)において、少なくとも検光子17の偏光方向を2つの角度 θ_1 及び θ_2 に設定し、磁場掃引しながら画像を撮像している。そして、画像内の ROI 毎にヒステリシスループを解析処理することで、 ROI 毎に2つのコントラスト $C_1(x, y)$ 及び $C_2(x, y)$ の値を算出している。

【0079】

40

したがって、画像処理部30は、前述の(i)における装置定数のキャリブレーション結果、(i i)における検光子17の偏光方向の角度 θ_1 及び θ_2 の設定値、及び、(i i)におけるコントラスト $C_1(x, y)$ 及び $C_2(x, y)$ を上記の物理モデル式(1)及び(2)に代入することで、補正されたカー回転の回転角 (x, y) の計測値を得ることができる。

【0080】

(1)及び(2)式では、すべて、< (i)事前キャリブレーション>、< (i i)磁場掃引による画像取得と ROI 毎の解析>で計測された値、及び、設定した角度 θ_1 、 θ_2 である。よって、 $ROI(x, y)$ において試料20で発生したカー回転の回転角 (x, y) は、補正された定量値となる。

50

【 0 0 8 1 】

< 偏光顕微鏡自体で発生する偏光誤差のカーローテーションへの伝播 >

次に、上記で課題とした偏光顕微鏡自体で発生する偏光誤差（装置定数）が試料 2 0 により発生するカー回転へ誤差伝播することを説明する。

【 0 0 8 2 】

まず、試料 2 0 に外部磁場を印加しない場合を考える。また、ROI (x、 y) を任意の 1 座標で考える。偏光子 1 2 の偏光方向を X 軸方向とし、検光子 1 7 の偏光方向を Y 軸方向とした理想的なクロスニコル配置とする。このとき、偏光子 1 2 を透過した X 軸方向の振幅を持つ直線偏光が偏光顕微鏡装置 1 の光学系を通ることにより、偏光面は、回転するとともに、楕円率 で楕円化する。

10

【 0 0 8 3 】

図 1 9 は、実施形態 1 に係る偏光顕微鏡装置 1 において、外部磁場を印加しない場合の偏光面の回転及び楕円化を例示した図である。入射する直線偏光の方位を X 軸、検光子の方位を Y 軸としている。図 1 9 に示すように、反射光 2 2 の偏光方位 OA は、偏光顕微鏡装置 1 を通ることにより、X 軸から 回転及び楕円化（楕円長軸 OA , 短軸 OB ）する。この 回転及び楕円化は、対物レンズ 1 4 の曲率、反射防止膜、ビームスプリッタ 1 3 のコーティング（ Co a t i n g ）によって発生する s 偏光及び p 偏光の振幅差（楕円化）、並びに、s 偏光及び p 偏光の位相差（偏光面の回転）に起因するものである。画像取得部では OA、OB の Y 軸への射影成分の和が検出される。また、画像取得部 1 9 の撮像素子の座標（像位置）に到達するまでの光路が像位置毎に異なるため、偏光の変化量は、像位置によって変わる。

20

【 0 0 8 4 】

図 2 0 は、ビームスプリッタ 1 3 が不在状態において、試料 2 0 で反射した反射光 2 2 が画像取得部 1 9 の撮像面 2 6 に到達するまでの光路を例示した図である。図 2 1 は、ビームスプリッタ 1 3 がある状態において、試料 2 0 で反射した反射光 2 2 が画像取得部 1 9 の撮像面 2 6 に到達するまでの光路を例示した図である。図 2 0 及び図 2 1 に示すように、ビームスプリッタ 1 3 があると、画像取得部 1 9 の撮像面 2 6 に到達するまでの光路が像位置毎に異なる。また、3 つの光線は物体位置（試料位置）に依存してビームスプリッタ 1 3 に入射する角度が異なることを示している。一般的なビームスプリッタ 1 3 では誘電体多層膜で反射率、透過率を制御しているが、偏光依存性までは考慮されていない。よって、この角度差に応じて偏光面の回転、楕円化の程度が変わる。事例としてビームスプリッタ 1 3 の誘電体多層膜を挙げたが、これは光路を構成する対物レンズ各面の反射防止コート等でも同様であり、像位置に至る光路全体として偏光成分の変動は像位置によって異なる。よって、偏光方向の変化量は、像位置によって変わる。これは、程度の差はあれ不可避なものである。

30

【 0 0 8 5 】

エネルギー（ E n e r g y ）を、 $O A^2 + O B^2 = 1$ とするとき、OA、OB の検光子 1 7 への射影成分はそれぞれ、 $(1 - \sin^2 \theta) \sin \theta$ 、 $\cos \theta$ となる。これらは、互いに直交する振動面を持つので非干渉である。よって、検光子 1 7 を透過する強度は、 $(1 - \sin^2 \theta) \sin^2 \theta + \cos^2 \theta$ となり、さらに、変形して、以下及び図 1 6 の (3) 式を得る。

40

【 0 0 8 6 】

$$I(\theta, \alpha) = (1 - 2 \sin^2 \theta) \sin^2 \theta + \cos^2 \theta \quad (3)$$

【 0 0 8 7 】

この式は、検光子 1 7 を透過する光強度を表すマリユス則として知られている。よって、前述の (i) 事前キャリブレーションにおいて、検光子 1 7 の角度 α を振りながら画像取得部 1 9 で輝度値を記録したときは、下記及び図 1 6 の (4) 式となる。

【 0 0 8 8 】

$$I(\theta, \alpha) = a [(1 - 2 \sin^2 \theta) \sin^2 \theta (\alpha - \theta) + \cos^2 \theta] \quad (4)$$

【 0 0 8 9 】

50

ここで、 I 、 a 、 θ は、視野内の位置 (x, y) 毎に異なる値を持つ。即ち、 $I(x, y)$ である。以下では、 (x, y) の表記は省略する。また、 $I(\theta, \phi)$ と表す。 a は、総エネルギー 1 に掛かる係数であり、所謂、輝度ムラに相当する。 \sin^2 の振幅 $1 - 2\theta^2$ と、DC 成分 θ^2 との比率である $\theta^2 / (1 - 2\theta^2)$ は、所謂、消光比に相当する。(i) 事前キャリブレーションにおいて、発明者の検証によると、視野内の ROI 毎に、この実験カーブ (Curve) が異なる。このようにして、ROI 毎に (4) 式によるフィッティングから、 $a(x, y)$ 、 $\theta(x, y)$ 、 $\phi(x, y)$ を装置定数として取得する。発明者による試験では、視野内ばらつき $a(x, y)$ は、 $\pm 10\%$ 程度、 $\theta(x, y)$ は $\pm 20\%$ 程度、 $\phi(x, y)$ は、 ± 0.5 度程度である (図 13 参照)。また、また、 $\theta(x, y)$ 、 $\phi(x, y)$ の絶対値は、計測対象の磁性薄膜で発生するカー回転及びカー楕円化と比較して 1 桁以上大きな量である。

10

【0090】

次に、外部磁場を掃引したときの磁性薄膜等の磁性体を含む試料 20 での微小なカー回転及びカー楕円化を付加して考える。図 22 は、実施形態 1 に係る偏光顕微鏡装置 1 において、外部磁場を印加した場合の偏光面の回転及び楕円化を例示した図である。図 22 に示すように、カー回転は、 θ を中心にして $\pm \theta$ 、楕円率は、 ϕ を中心にして $\pm \phi$ と変調されるとする。いずれも、外部磁場の掃引における \pm 飽和磁場で考えれば十分である。装置定数は、(i) 事前キャリブレーションのときと同様に考えて、以下及び図 16 の (5) 式である。

【0091】

20

$$I_{\pm} = a [(1 - 2(\theta \pm \Delta\theta)^2) \sin^2(a - (\phi \pm \Delta\phi)) + (\theta \pm \Delta\theta)^2] \quad (5)$$

【0092】

$\Delta\theta \ll \theta$ 、 $\Delta\phi \ll \phi$ であるので、近似と式変形を施し、簡単のため、 $a - (\phi \pm \Delta\phi) = a - \phi \pm \Delta\phi$ と表記し、 a を省略する。そうすると、以下及び図 16 の (6) 式となる。

【0093】

$$I_{\pm} [(1 - 2(\theta^2 \pm 2\theta\Delta\theta)) \sin^2(\phi \pm \Delta\phi)] + \theta^2 \pm 2\theta\Delta\theta \quad (6)$$

【0094】

定量評価する指標は、 $I = I_+ - I_-$ であるので、(6) 式から I と表記し、変形する。

30

【0095】

$$I = (1 - 2\theta^2 + 4\theta\Delta\theta) \sin(2\theta) \sin(2\phi) + 4\theta\Delta\theta (1 + \cos(2(\theta + \Delta\theta))) \quad (7)$$

【0096】

この式より θ と ϕ には、装置定数が係数として掛かっており分離ができない。また、未定係数は θ と ϕ の 2 つあるので 1 回の計測ではそれぞれを導出することが不可能であることが分かる。

【0097】

40

よって、最も簡便に状態を変える手段として、検光子 17 の角度 θ を 2 水準 ($\theta_1 = \theta_1 - \Delta\theta$ 、 $\theta_2 = \theta_2 - \Delta\theta$) で 2 回計測するとする。ところで、(7) 式までは、無次元の光強度であるが、実際に記録されるものは、画像取得部 19 の撮像素子の画素値 (輝度値: グレイレベル) である。よって、(7) 式を (4) 式で除した無次元のコントラスト (Contrast) 値を導入する。このとき、(4) 式の a は、(7) 式にも掛かるので相殺される。すなわち、コントラスト C を、以下の (8-1) ~ (8-4) 式及び図 16 の (8) 式で定義する。

【0098】

$$C = (Q_1 + Q_2) / Q_3 \quad (8-1)$$

$$Q_1 = (1 - 2\theta^2 + 4\theta\Delta\theta) \sin(2\theta) \sin(2\phi) \quad (8-2)$$

50

$$Q_2 = 4 \quad (1 + \cos(2(\theta_1 + \theta_2))) \quad (8-3)$$

$$Q_3 = [(1 - 2 \sin^2(\theta_1)) \sin^2(\theta_2) + \sin^2(\theta_1)] \quad (8-4)$$

【0099】

これは、実計測データでは、外部磁場の掃引時にヒステリシスループの高低差（輝度差）/平均値に相当する。コントラストCは、図17におけるコントラスト（Contrast）である。検光子17の2水準でのヒステリシスループから導出するコントラストを、コントラストC₁及びC₂として、2つの（8）式の連立方程式から（8）を消去して（9）を導出すると、以下の（9-1）～（9-4）式及び図16の（9）式となる。

【0100】

$$U_1 = U_2 \quad (9-1) \quad 10$$

$$U_1 = (1 - 2 \sin^2(\theta_1)) (C_2 \sin^2(\theta_2) - C_1 \sin^2(\theta_1)) + \sin^2(\theta_2) (C_2 - C_1) \quad (9-2)$$

$$U_2 = (1 - 2 \sin^2(\theta_2)) [\sin(2\theta_2) \sin(2\theta_1) - \sin(2\theta_1) \sin(2\theta_2)] \cdot U_3 \quad (9-3)$$

$$U_3 = (1 + \cos(2\theta_2) \cos(2\theta_1)) / (1 + \cos(2\theta_1) \cos(2\theta_2)) \quad (9-4)$$

【0101】

ここで、 $\sin(2\theta_1)$ は、十分小さい量なので、 $\sin(2\theta_1) \approx 2\theta_1$ 、 $\cos(2\theta_1) \approx 1$ と近似して、式変形する。そうすると、図16の（1）及び（2）式を得る。 20

【0102】

また、 (x, y) も、以下の（10-1）～（10-4）式及び図16の（10）式のように導出される。

【0103】

$$2 \theta_1(x, y) = (V_1 - V_2) / V_3 \quad (10-1)$$

$$V_1 = C_1 \{ (1 - 2 \sin^2(\theta_1(x, y))) \sin^2(\theta_2(x, y)) + \sin^2(\theta_1(x, y)) \} \quad (10-2)$$

$$V_2 = (1 - 2 \sin^2(\theta_2(x, y))) \sin(2\theta_1(x, y)) \times 2 \theta_1(x, y) \quad (10-3) \quad 30$$

$$V_3 = 2 \theta_2(x, y) \{ 1 + \cos(2\theta_1(x, y)) \} \quad (10-4)$$

【0104】

しかしながら、分母にある $\theta_1(x, y)$ の符号の同定が必要である。これは、 $\lambda/4$ 波長板を用いた別の計測が必要になる。また、上述した数式及び図16の表現は、趣旨を逸脱しない範囲で適宜変更することが可能である。例えば、本質的な物理現象を表記していれば、 \sin 等の近似表記を用いてもよい。具体的には、上述の説明、および、図16に示した一連の数式は、可能な限り近似をしない表記であるが、個々に入れる実測値、設定値のオーダに応じた近似表記を用いても本質的な物理表記は変わらない。 40

【0105】

本実施形態によれば、視野内のばらつきを補正し、スポット計測と同等の精度で視野内の偏光特性の分布を計測することができる。例えば、特許文献2には、カー回転角等の偏光特性を解析する偏光顕微鏡が記載されているが、視野内でのばらつきを補正することは記載されていない。本実施形態の偏光顕微鏡装置1は、計測及び補正により、スポット計測（数10 μm）と同等の精度での計測が面計測（～数1000 μm）で実現することができる、大幅な処理時間を短縮することができる。

【0106】

<実施例1>

次に、上記実施形態の方法における事前キャリブレーションによって、実際に、装置定 50

数を取得し、磁場掃引による画像取得とROI毎の解析を行った結果を説明する。すなわち、検光子17の2つの偏光方向の角度 θ_1 及び θ_2 で計測するイメージングMOKEで磁化コントラストCを評価した。

【0107】

また、視野内のカー回転の回転角をスポット計測で予め計測しておき、これを正解データとして比較した。試料20は、MRAMで一般的に使われているCoFeBのフリー(Free)層を有するものである。具体的には、試料20は、CoFeBのフリー層と、フリー層の上下の層に配置された垂直磁気異方性を出現させるための層と、最表層にキャップ(Cap)層として積層された金属(Metal)層と、を備えている。

【0108】

外部磁場は、保磁力 H_c の10倍以上を取って十分飽和磁化に達するレベルに設定した。また、イメージングMOKEの視野内のROI座標は、スポット計測の計測スポット座標と同一にした。また、スポット計測とイメージングMOKEの磁場掃引速度(単位: Oe/sec)も共通にしている。

【0109】

図23(a)は、検光子17の偏光方向の角度を+4度に設定した場合の各ROIのヒステリシスループのグレイレベル差レンジを視野中心のグレイレベル差レンジで規格化したものである。図23(a)は、無補正の生データ(Raw data)である。この場合には、 ΔAVE で、9.7%の空間ばらつきであった。

【0110】

図23(b)は、ヒステリシスループのコントラストを単純に各ROIの平均輝度値で除し、視野中心での値を基準に規格化したものである。この場合には、空間ばらつきは、11.4%であるが、(a)の生データ、及び、スポット計測による(d)の正解分布とは乖離が大きい。

【0111】

図23(c)は、実施形態1に係る偏光顕微鏡装置1が取得した試料20のコントラストの分布を例示した図である。図23(c)に示すように、本実施形態のコントラストの分布は、検光子17の偏光方向の角度を $\theta_1 = +4$ 度及び $\theta_2 = -4$ 度に設定した2回の計測の結果から導出したものである。この場合には、空間ばらつきは、3.2%である。図23(a)及び(b)のような装置定数起因と思われる特徴的な模様(Finger print)にはあって、(d)の正解分布にはない模様が良好に除去されていることが分かる。

【0112】

図23(d)は、スポット計測器が取得したコントラストの分布を例示した図である。図23(d)に示すように、スポット計測による結果は、ばらつきが低減され、装置定数起因と思われる特徴的な模様はない。

【0113】

図24(a)~(c)は、実施形態1に係る偏光顕微鏡装置1の定量解析の結果を例示した図であり、(d)~(f)は、スポット計測の結果を例示した図である。図24(a)~(c)には、視野内の飽和磁化 M_s (θ_2)、保持力 H_c 、スロープの分布を示す。図24(d)~(f)には、(a)~(c)と同じ個所をスポット計測で計測した結果を示す。

【0114】

図24(a)~(c)に示すように、本実施形態は、図18で示したヒステリシスループの指標を全て定量解析することができる。また、本実施形態の各指標の分布の数値には、スケールが乗っているものの、スポット計測による分布と、相関は取れている。半導体製造の分野では係数管理が可能であるので実用上は問題ない。

【0115】

図24(b)に示すように、保持力 H_c は、装置定数である磁化方向のスケールが入らない。よって、補正は不要である。図24(c)に示すように、スロープは、飽和

10

20

30

40

50

磁化 M_s で施した磁化方向のスケーリング係数を、図 16 の (0) 式の経験的モデル式の R に乗ずることで補正することができる。具体的には、 (x, y) を視野中心に対して規格化して相対分布 $S(x, y)$ を算出する (図 9 のステップ S32)。次に、無補正のレンジ $R(x, y)$ を視野中心に対して規格化して相対分布を算出する (図 9 のステップ S33)。そして、スロープの Y 軸補正係数を ROI 毎に算出する。 $S(x, y) / R(x, y) Slope(x, y)$ によりスロープの分布を補正する (図 9 のステップ S34)。

【0116】

次に、本実施形態の効果の説明する。本実施形態の偏光顕微鏡装置 1 は、スポット計測と同等の精度で視野内の偏光特性分布を計測することができ、定量的な面計測を実現することができる。

10

【0117】

図 25 は、実施形態 1 に係る視野内補正解析方法の効果を例示した図である。図 25 に示すように、本実施形態の視野内補正解析方法は、検光子 17 の偏光方向の角度 θ を、例えば、 -4 度及び $+4$ 度と設定して、試料 20 に対して外部磁場を掃引した時のグレイレベル差レンジ画像 (生データ) を取得する。この場合の生データには、それぞれ、 $\theta = 8.6\%$ 及び $\theta = 10\%$ 程度のバラツキを有している。各データを規格化することによりコントラスト $C_1(x, y)$ 及び $C_2(x, y)$ を取得するが、各コントラストには、装置起因の誤差が含まれている。この C_1, C_2 は輝度による規格化と言う、所謂、従来の考え方による補正結果である。

20

【0118】

本実施形態では、そのような装置起因の誤差を、予め取得する装置定数を用いて補正する。そうすると、ばらつきは $\theta = 3, 2\%$ 程度まで減少させることができる (図 25 中の 3)。装置定数起因の特徴的な傾斜分布も除去できている。これにより、スポット計測の結果に近づけることができる。そして、本実施形態の偏光顕微鏡装置 1 は、短時間での大量計測が可能となり、MRAM の磁性膜の磁化特性管理にとって有効である。

【0119】

比較例の磁区偏光顕微鏡のように、偏光顕微鏡をベース (Base) にする磁区観察顕微鏡では、磁区 (Magnetic domain) の観察に機能が留まっている。一方、本実施形態によれば、視野内のヒステリシスループを定量的に評価することができる。

30

【0120】

また、比較例のカー効果測定装置及びスポット計測器では、ポイント計測であるのに対して、本実施形態は、面計測である。さらに、本実施形態は、視野内の ROI 毎にヒステリシスループを定量的に解析することができる。また、ヒステリシスループの形状から、飽和磁化 M_s 、保磁力 H_c 、スロープ θ といった MRAM デバイスの最終性能に直結する性能指標を面で定量評価することができる。よって、評価点数を飛躍的に増大させることが可能なため、ボリュームデータ (Volume data) による歩留まり管理をすることができる。

【0121】

本発明は、上記実施形態 1 及び実施例に限られたものではなく、趣旨を逸脱しない範囲で適宜変更することが可能である。例えば、実施形態 1 及び実施例の各構成は、相互に組み合わせることができる。

40

【0122】

また、上述した画像処理部 30 は、例えば、パーソナルコンピュータ等の情報処理装置でもよい。なお、画像処理部 30 は、パーソナルコンピュータに限らず、情報処理を行うものであれば、サーバ、タブレット、携帯端末等でもよいし、クラウド上のものでもよい。画像処理部 30 は、図示しない構成として、プロセッサ、メモリ及び記憶装置、通信装置を備えてもよい。また、記憶装置は、画像処理部 30 が行う処理をプログラムにして記憶してもよい。また、プロセッサは、記憶装置からプログラムをメモリへ読み込ませ、当該プログラムを実行してもよい。これにより、プロセッサは、画像処理部 30 の機能を実

50

現する。

【 0 1 2 3 】

画像処理部 3 0 は、専用のハードウェアで実現されていてもよい。また、画像処理部 3 0 の一部又は全部は、汎用または専用の回路 (circuitry)、プロセッサ等やこれらの組合せによって実現されてもよい。これらは、単一のチップによって構成されてもよいし、バスを介して接続される複数のチップによって構成されてもよい。画像処理部 3 0 の一部又は全部は、上述した回路等とプログラムとの組合せによって実現されてもよい。また、プロセッサとして、CPU (Central Processing Unit)、GPU (Graphics Processing Unit)、FPGA (field-programmable gate array)、量子プロセッサ (量子コンピュータ制御チップ) 等を用いることができる。

10

【 0 1 2 4 】

また、画像処理部 3 0 の一部又は全部が複数の情報処理装置や回路等により実現される場合には、複数の情報処理装置や回路等は、集中配置されてもよいし、分散配置されてもよい。例えば、情報処理装置や回路等は、クライアントサーバシステム、クラウドコンピューティングシステム等、各々が通信ネットワークを介して接続される形態として実現されてもよい。また、画像処理部 3 0 の機能が SaaS (Software as a Service) 形式で提供されてもよい。

【 0 1 2 5 】

また、上述した視野内補正解析方法をコンピュータに読み込ませて実行させる下記の視野内補正解析プログラムも実施形態の技術的思想の範囲内である。視野内補正解析プログラムは、非一時的なコンピュータ可読媒体又は実体のある記憶媒体に格納されてもよい。限定ではなく例として、コンピュータ可読媒体又は実体のある記憶媒体は、random-access memory (RAM)、read-only memory (ROM)、フラッシュメモリ、solid-state drive (SSD) 又はその他のメモリ技術、CD-ROM、digital versatile disc (DVD)、Blu-ray (登録商標) ディスク又はその他の光ディスクストレージ、磁気カセット、磁気テープ、磁気ディスクストレージ又はその他の磁気ストレージデバイスを含む。視野内補正解析プログラムは、一時的なコンピュータ可読媒体又は通信媒体上で送信されてもよい。限定ではなく例として、一時的なコンピュータ可読媒体又は通信媒体は、電氣的、光学的、音響的、またはその他の形式の伝搬信号を含む。

20

【 0 1 2 6 】

30

(付 記 1)

照明光を生成する光源と、

前記光源で生成された前記照明光が入射され、第 1 の偏光方向の直線偏光を含む前記照明光を透過させる偏光子と、

前記直線偏光を含む前記照明光で試料を照明するとともに、前記照明光が前記試料で反射した反射光を透過させる対物レンズと、

前記反射光における第 2 の偏光方向の直線偏光の成分を透過させる検光子と、

前記反射光の画像を取得する画像取得部と、

前記試料に印加する外部磁場を生成する磁石と、

前記取得した画像を処理する画像処理部と、

40

を備えた偏光顕微鏡装置を用いた視野内補正解析プログラムであって、

前記第 1 の偏光方向と、前記第 2 の偏光方向と、のなす角度を所定の範囲内において所定の刻みで回転させながら、非磁性の前記試料、または、磁性体を含む前記試料を磁場印加しない状態で用いることで非磁性鏡面と見なせる試料に対して、偏光した前記照明光を照明することにより取得した複数の前記画像から、複数の着目領域を含む視野内の前記着目領域毎の前記偏光回転角度分布、及び、楕円化による楕円率の 2 乗分布を含む装置定数を算出する第 1 ステップと、

前記第 1 の偏光方向と前記第 2 の偏光方向とのなす前記角度を第 1 角度に設定した場合に、前記磁性体を含む前記試料の前記磁性体の部分に対して、偏光した前記照明光を照明するとともに、前記外部磁場を掃引しながら取得した複数の画像から、前記着目領域毎の

50

輝度値のヒステリシスループを取得し、

前記第 1 の偏光方向と前記第 2 の偏光方向とのなす前記角度を第 2 角度に設定した場合に、前記磁性体を含む前記試料の前記磁性体の部分に対して、前記偏光した照明光を照明するとともに、前記外部磁場を掃引しながら取得した複数の画像から、前記着目領域毎の前記輝度値のヒステリシスループを取得する第 2 ステップと、

前記装置定数、前記第 1 角度における前記ヒステリシスループ及び前記第 2 角度における前記ヒステリシスループを用いた解析から前記着目領域毎にカー回転の回転角を算出する第 3 ステップと、

をコンピュータに実行させる視野内補正解析プログラム。

(付記 2)

10

前記第 1 ステップにおいて、

前記検光子は、前記偏光子に対してクロスニコル配置を基準にして前記所定の範囲を回転させる、

付記 1 に記載の視野内補正解析プログラム。

(付記 3)

前記第 1 ステップにおいて、

マリウス則を用いて、前記着目領域毎の前記角度分布、及び、前記 2 乗分布を含む前記装置定数を算出させる、

付記 1 または 2 に記載の視野内補正解析プログラム。

(付記 4)

20

前記第 1 ステップにおいて、

前記装置定数は、輝度分布を含み、

前記着目領域毎の前記輝度分布を含む前記装置定数を算出させる、

付記 1 ~ 3 のいずれか 1 項に記載の視野内補正解析プログラム。

(付記 5)

前記第 2 ステップにおいて、

前記第 1 角度における前記ヒステリシスループ及び前記第 2 角度における前記ヒステリシスループを、経験的な近似関数にフィッティングすることにより、前記着目領域毎のコントラスト、保磁力及びスロープを算出させる、

付記 1 ~ 4 のいずれか 1 項に記載の視野内補正解析プログラム。

30

(付記 6)

前記第 3 ステップにおいて、

前記第 1 角度、前記第 2 角度、前記第 1 角度における輝度コントラスト及び前記第 2 角度における輝度コントラストに基づいて、前記着目領域毎の前記回転角を算出させる、

付記 5 に記載の視野内補正解析プログラム。

【符号の説明】

【 0 1 2 7 】

1、1 0 1 偏光顕微鏡装置

1 0 光源

1 1 レンズ

40

1 2 偏光子

1 3 ビームスプリッタ

1 4 対物レンズ

1 5 試料台

1 6 磁石

1 7 検光子

1 8 イメージングレンズ

1 9 画像取得部

2 0 試料

2 1 照明光

50

- 2 2 反射光
- 2 3 照明瞳
- 2 4 瞳面
- 2 5 測定面
- 2 6 撮像面
- 3 0 画像処理部

【 図 面 】

【 図 1 】

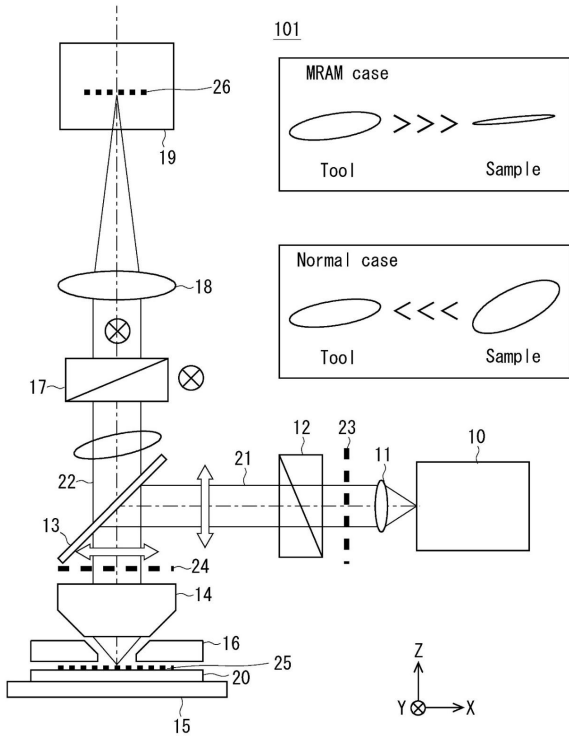


Fig. 1

【 図 2 】

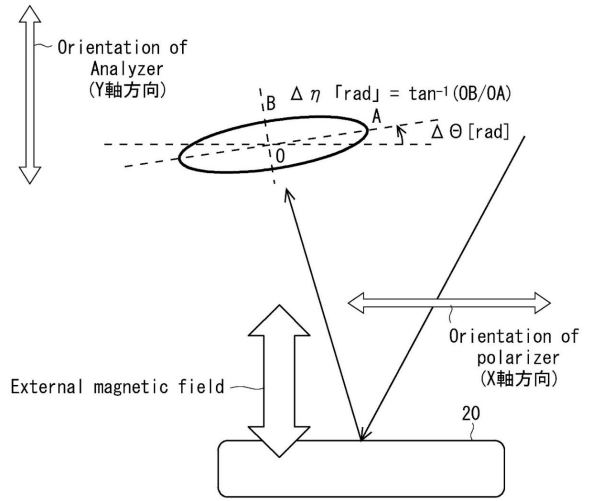


Fig. 2

10

20

30

40

50

【 3 】

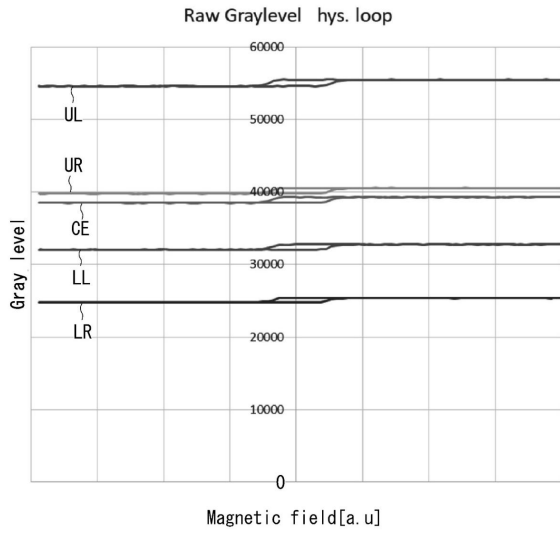


Fig. 3

【 4 】

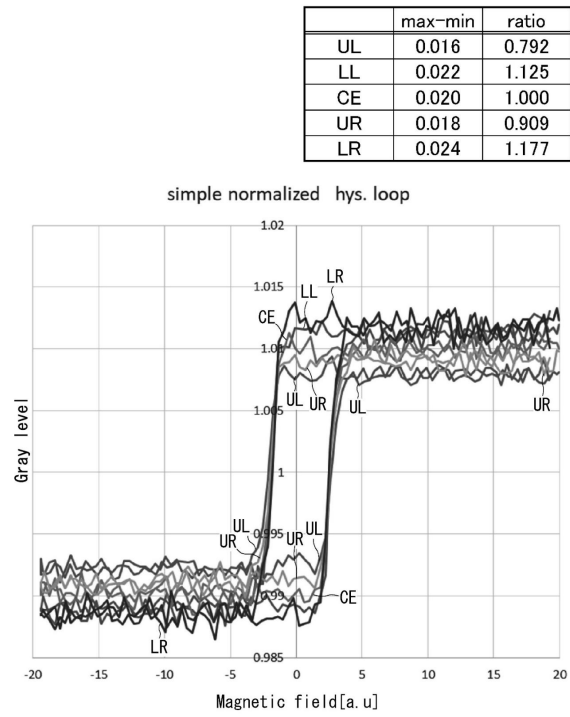


Fig. 4

10

20

【 5 】

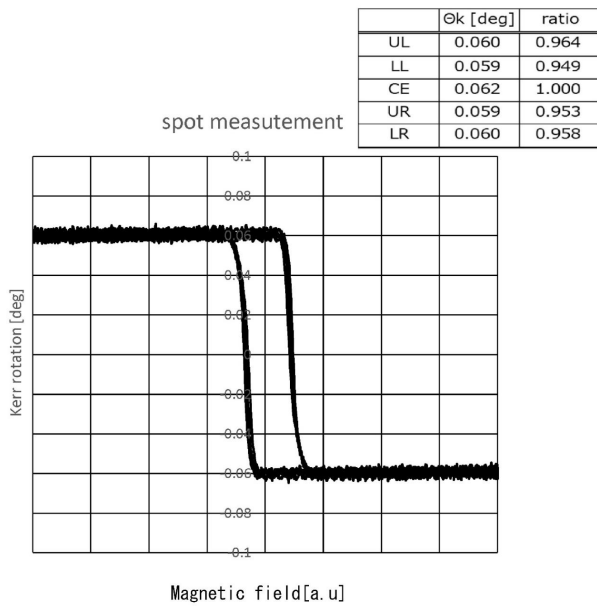


Fig. 5

【 6 】

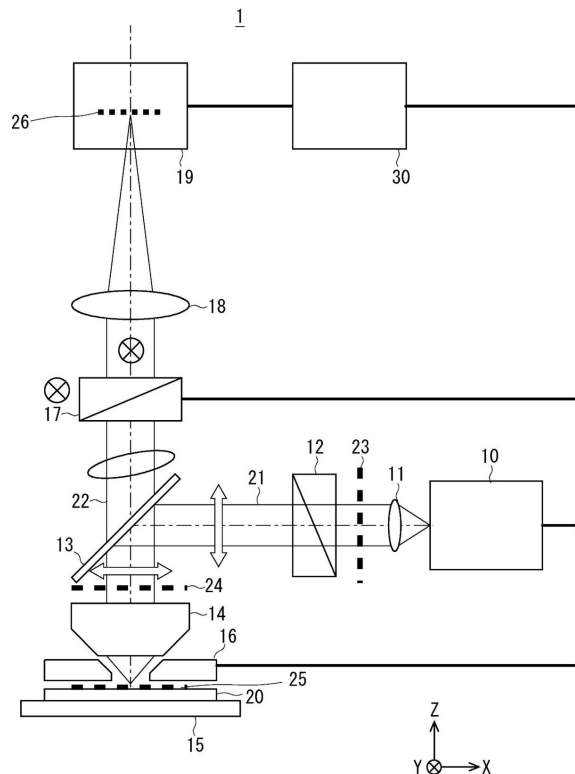


Fig. 6

30

40

50

【 図 7 】

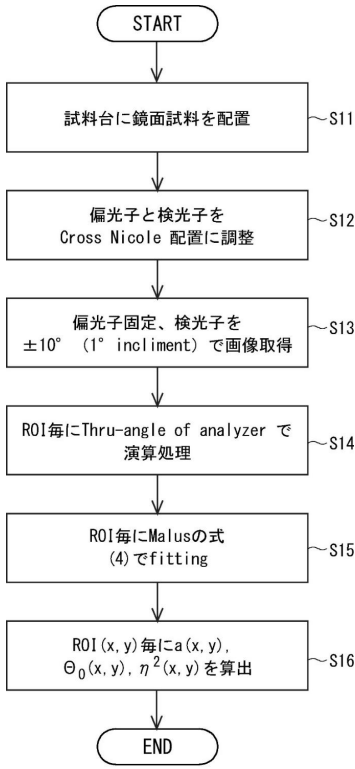


Fig. 7

【 図 8 】

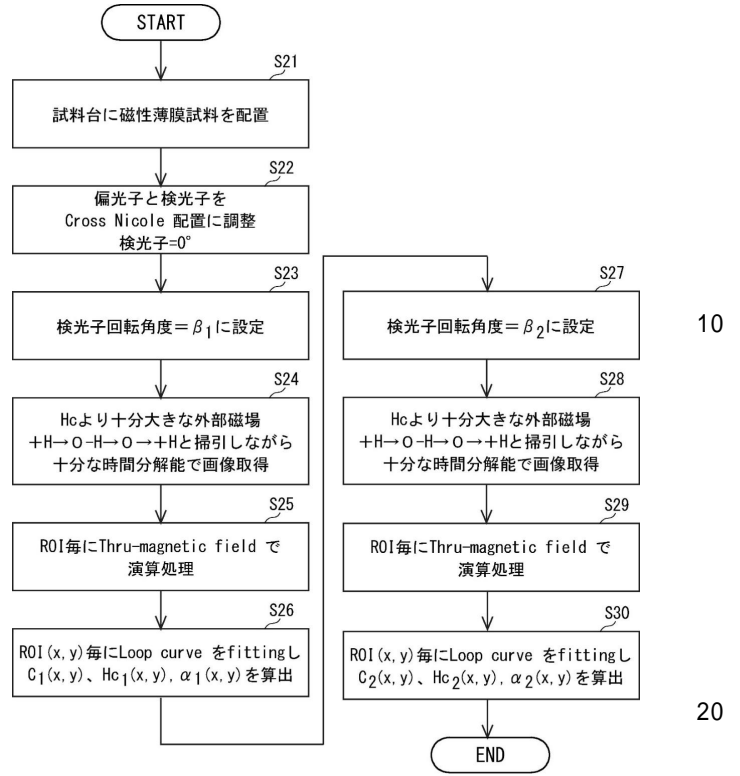


Fig. 8

【 図 9 】

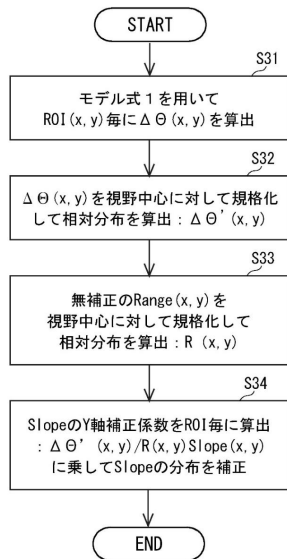


Fig. 9

【 図 10 】

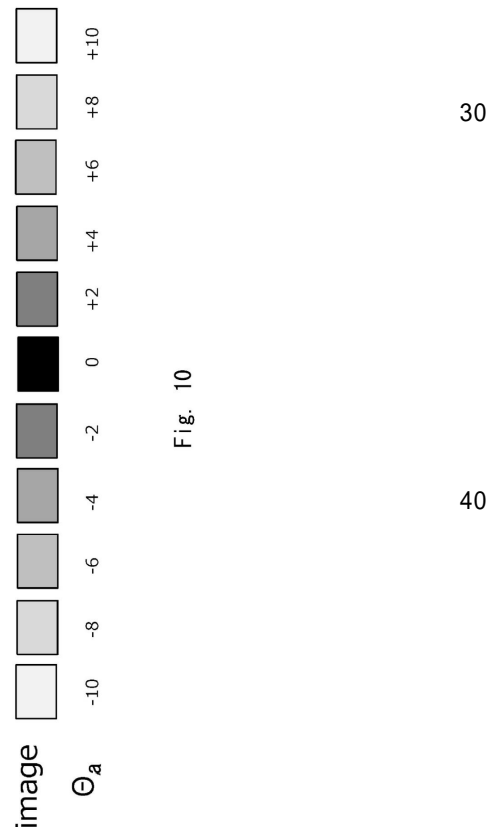


Fig. 10

【 1 1 】

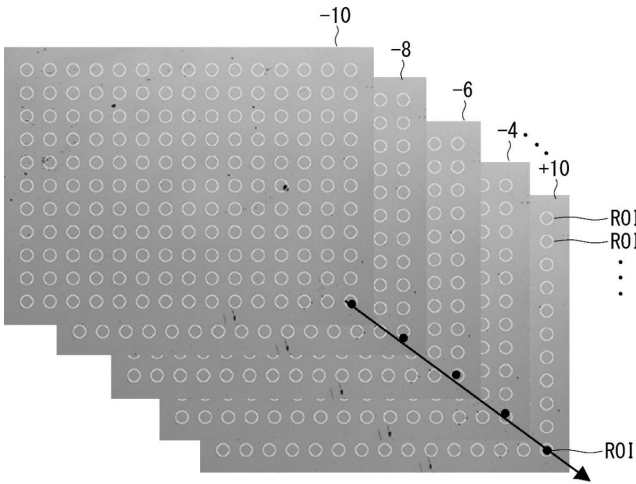


Fig. 11

【 1 2 】

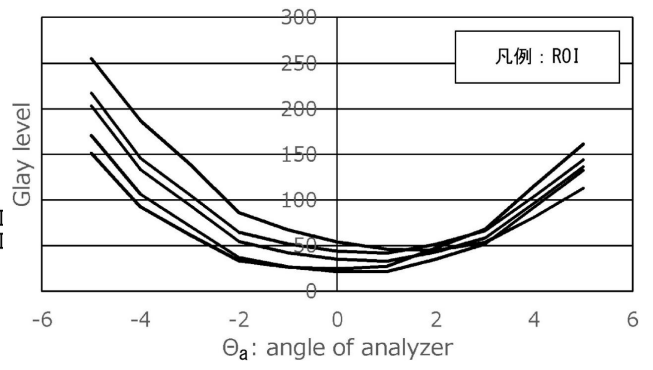


Fig. 12

10

【 1 3 】

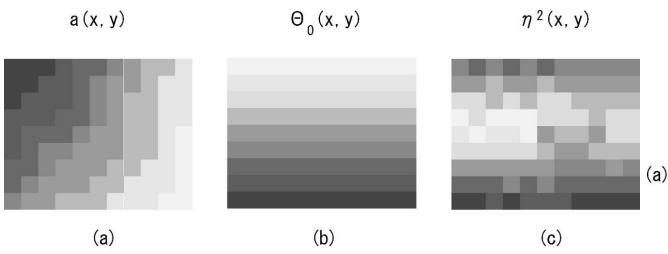


Fig. 13

【 1 4 】

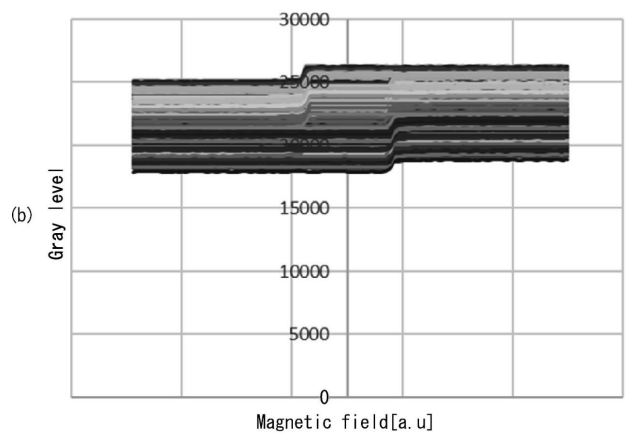
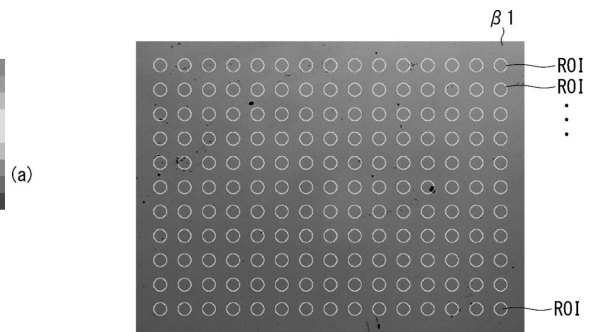


Fig. 14

20

30

40

50

【 15 】

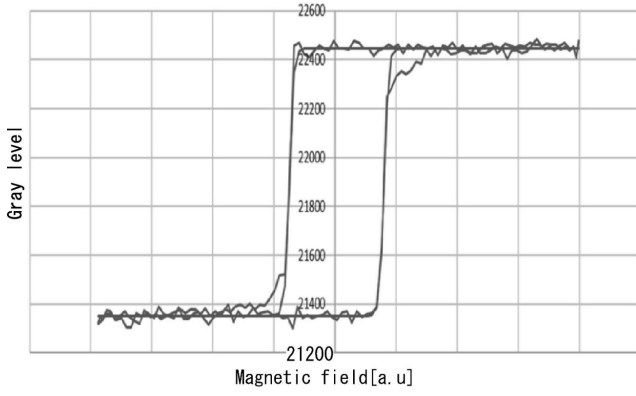


Fig. 15

【 16 】

$$\begin{aligned}
 I &= D + R \tanh(\alpha(H \pm Hc)) & (0) \\
 2\Delta\theta(x, y) &= \frac{C_2(x, y) \sin^2(\beta_2 - \theta(x, y)) + \eta^2(x, y) - AC_1(x, y) \sin^2(\beta_1 - \theta(x, y)) + \eta^2(x, y)}{(1 - 2\eta^2(x, y)) \sin(2(\beta_2 - \theta(x, y))) - A \sin(2(\beta_1 - \theta(x, y)))} & (1) \\
 A &= \frac{1 + \cos(2(\beta_1 - \theta(x, y)))}{1 + \cos(2(\beta_2 - \theta(x, y)))} & (2) \\
 I(\theta, \eta) &= (1 - 2\eta^2) \sin^2 \theta + \eta^2 & (3) \\
 I(\theta, \eta) &= a[(1 - 2\eta^2) \sin^2(\theta a - \theta) + \eta^2] & (4) \\
 I_{\pm} &= a[(1 - 2(\eta \pm \Delta\eta)^2) \sin^2(\theta a - (\theta \pm \Delta\theta)) + (\eta \pm \Delta\eta)^2] & (5) \\
 I_{\pm} &= [(1 - 2(\eta^2 \pm 2\eta\Delta\eta)^2) \sin^2(\theta \pm \Delta\theta)] + \eta^2 \pm 2\eta\Delta\eta & (6) \\
 \Delta I &= (1 - 2\eta^2 + 4\eta\Delta\eta) \sin(2\Delta\theta) \sin(2\Delta\theta) + 4\eta\Delta\eta(1 + \cos(2(\theta + \Delta\theta))) & (7) \\
 C &= \frac{(1 - 2\eta^2 + 4\eta\Delta\eta) \sin(2\theta) \sin(2\Delta\theta) + 4\eta\Delta\eta(1 + \cos(2(\theta + \Delta\theta)))}{(1 - 2\eta^2) \sin^2(\theta) + \eta^2} & (8) \\
 (1 - 2\eta^2)(C_2 \sin^2 \theta_2 - C_1 \sin^2 \theta_1) + \eta^2(C_2 - C_1) &= (1 - 2\eta^2) \left[\sin(2\theta_2) \sin(2\Delta\theta) - \sin(2\theta_1) \sin(2\Delta\theta) \right] \frac{1 + \cos(2\theta_1) \cos(2\Delta\theta)}{1 + \cos(2\theta_2) \cos(2\Delta\theta)} & (9) \\
 2\Delta\eta(x, y) &= \frac{C_1[(1 - 2\eta^2(x, y)) \sin^2(\beta_1 - \theta(x, y)) + \eta^2(x, y)] - (1 - 2\eta^2(x, y)) \sin(2(\beta_1 - \theta(x, y))) \times 2\Delta\theta(x, y)}{2\eta(x, y)(1 + \cos(2(\beta_1 - \theta(x, y))))} & (10)
 \end{aligned}$$

Fig. 16

10

20

【 17 】

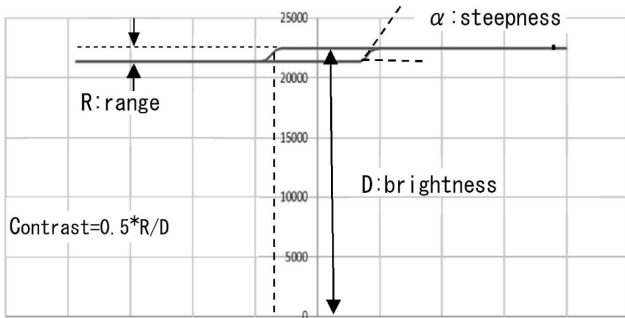


Fig. 17

【 18 】

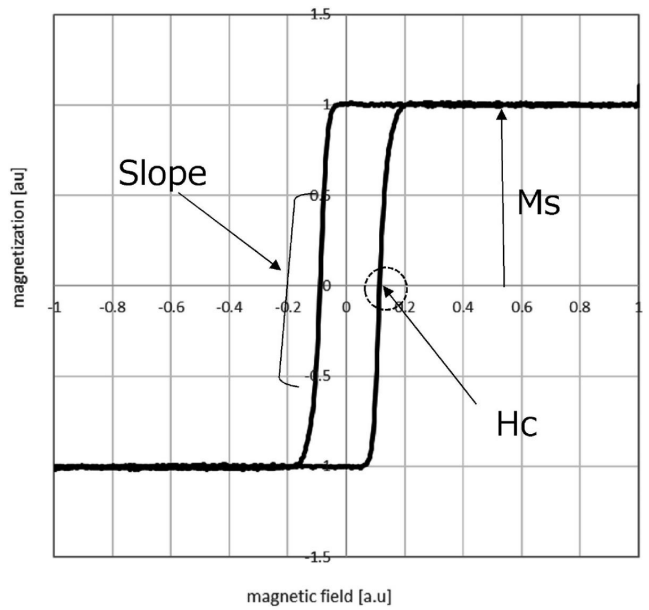


Fig. 18

30

40

50

【 図 1 9 】

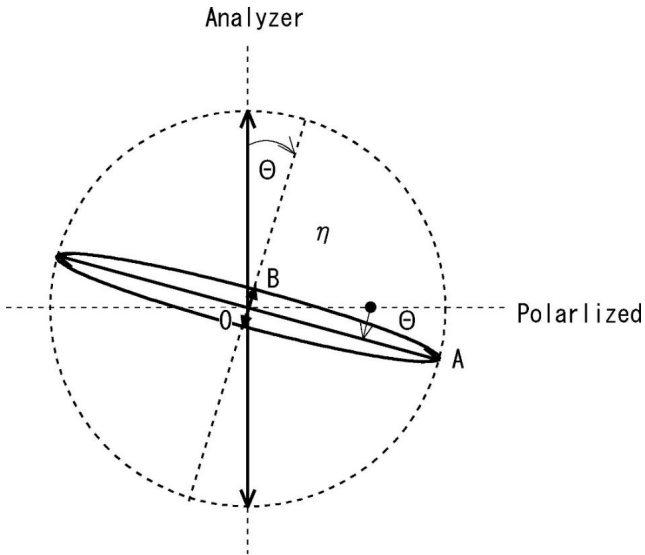


Fig. 19

【 図 2 0 】

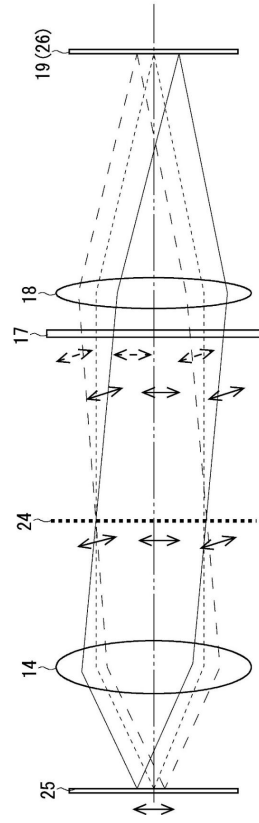


Fig. 20

10

20

【 図 2 1 】

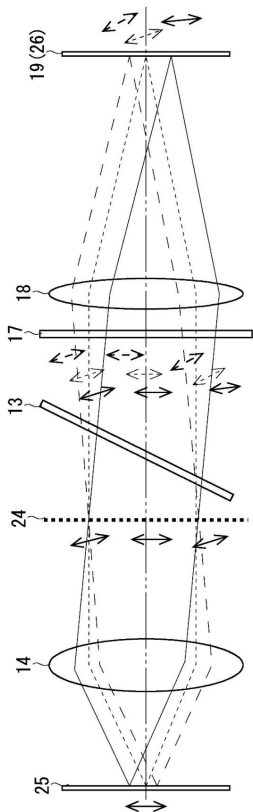


Fig. 21

【 図 2 2 】

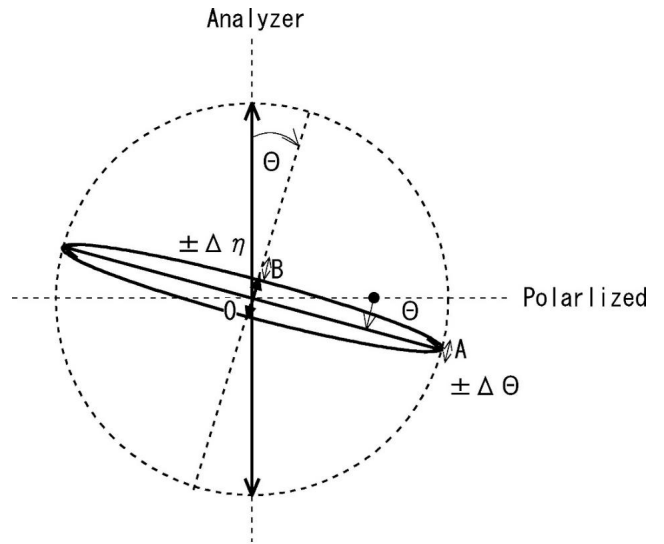


Fig. 22

30

40

50

【 2 3 】

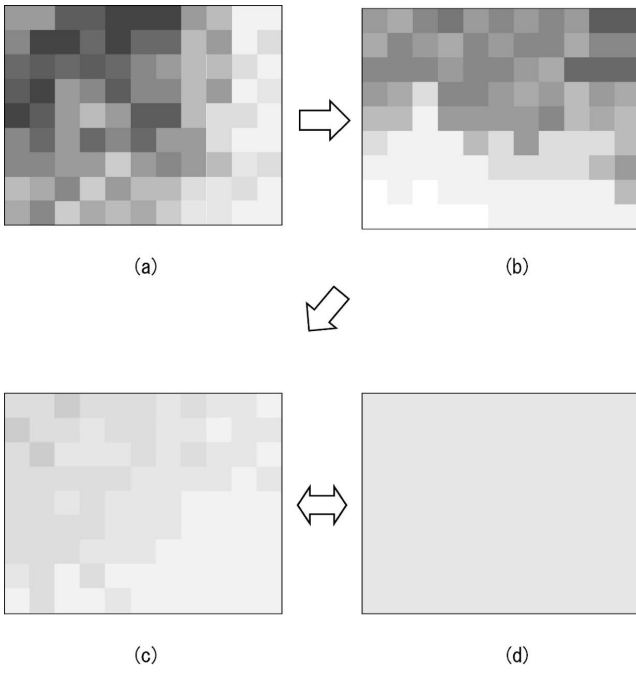


Fig. 23

【 2 4 】

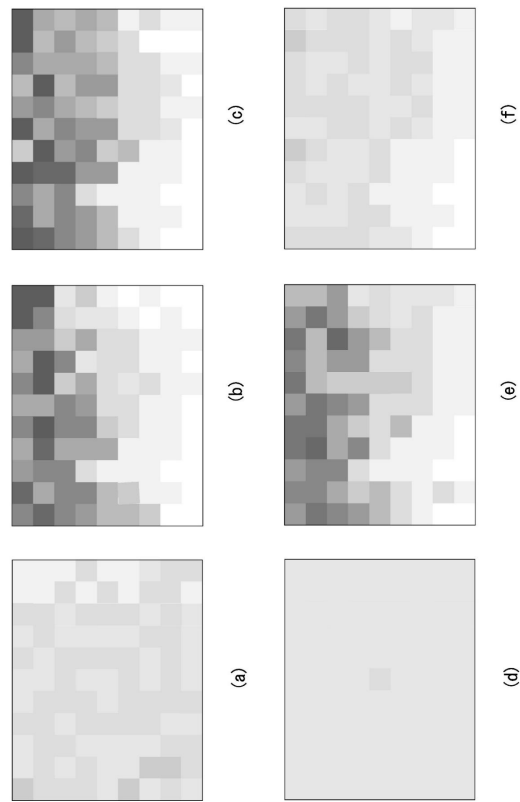


Fig. 24

10

20

30

40

50

【 2 5 】

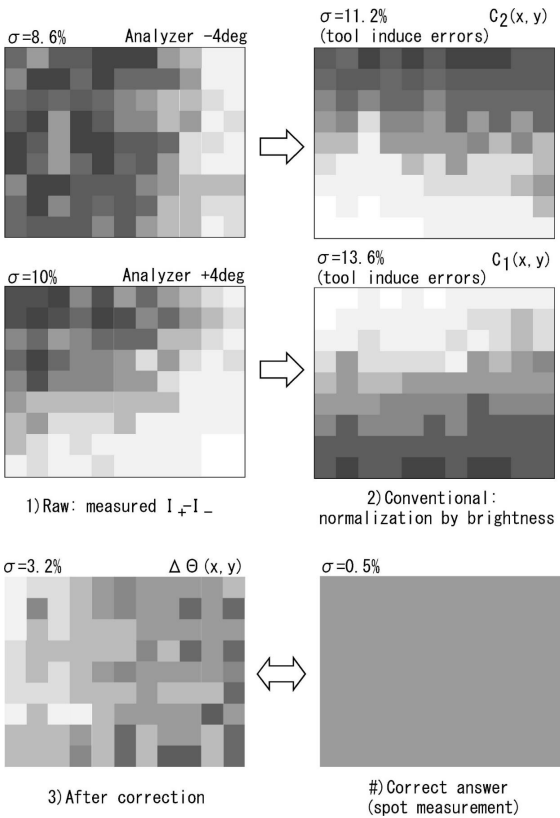


Fig. 25

フロントページの続き

- (72)発明者 大西 芳紀
神奈川県横浜市鶴見区菅沢町 2 - 7 株式会社サムスン日本研究所内
- (72)発明者 上山 真司
神奈川県横浜市鶴見区菅沢町 2 - 7 株式会社サムスン日本研究所内
- Fターム(参考) 2H052 AA01 AB01 AC04 AC18 AC33 AD31 AF14 AF25