

(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2011-38829

(P2011-38829A)

(43) 公開日 平成23年2月24日(2011.2.24)

| (51) Int.Cl. | | F I | テーマコード(参考) |
|--------------|-----------------|------------|------------|
| GO1B | 9/02 (2006.01) | GO1B 9/02 | 2F064 |
| GO2B | 21/06 (2006.01) | GO2B 21/06 | 2F065 |
| GO1B | 9/04 (2006.01) | GO1B 9/04 | 2H052 |
| GO1B | 11/24 (2006.01) | GO1B 11/24 | D |

審査請求 未請求 請求項の数 25 O L (全 16 頁)

(21) 出願番号 特願2009-184584 (P2009-184584)
 (22) 出願日 平成21年8月7日(2009.8.7)

(71) 出願人 000220343
 株式会社トプコン
 東京都板橋区蓮沼町75番1号
 (74) 代理人 100074538
 弁理士 田辺 徹
 (72) 発明者 大友 文夫
 東京都板橋区蓮沼町75番1号 株式会社
 トプコン内
 (72) 発明者 布川 和夫
 東京都板橋区蓮沼町75番1号 株式会社
 トプコン内
 (72) 発明者 舩内 正幸
 東京都板橋区蓮沼町75番1号 株式会社
 トプコン内

最終頁に続く

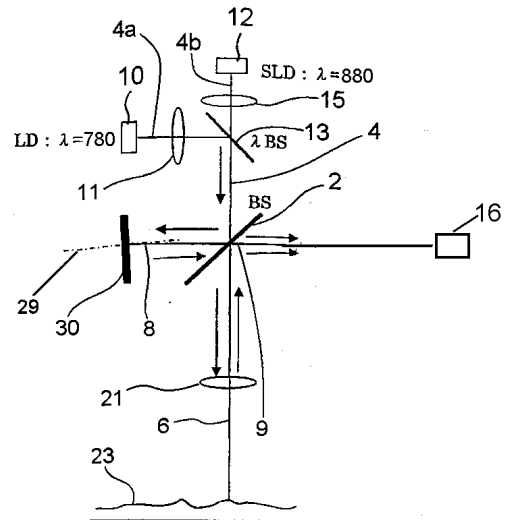
(54) 【発明の名称】 干渉顕微鏡及び測定装置

(57) 【要約】

【課題】 簡易な構成により、参照ミラーを僅かに傾斜させるだけで、ウェハなどの試料(被測定物)の表面形状を計測し、ごみやポールピースなどの正確な座標位置を特定し、電子顕微鏡、描画装置などの荷電粒子ビーム装置にその正確なデータを送受信して、作業効率の向上に一層貢献することができる干渉顕微鏡及び測定装置を提供する。

【解決手段】 ウェハなどの試料にレーザー光を照射し、干渉計を用いて、試料の表面内部を観察検査する干渉顕微鏡及び測定装置において、ビームスプリッターと参照ミラーとの間に光を導光するための参照光路を設けるとともに、ビームスプリッターと試料との間に光を導光するための測定光路を設けて、参照光路と測定光路において光学的な光路差を設ける。しかも、参照ミラーを微小量傾斜させることによって、検出手段に干渉縞を形成する。

【選択図】 図1



【特許請求の範囲】

【請求項 1】

有限な可干渉距離を持つ光束を二分割して、試料、及び参照ミラーに照射する二光束干渉計を用いて、試料表面の微細な凹凸、及び内部の高さ情報を観察検査する干渉顕微鏡において、

波長、及び可干渉距離の異なる二光源からの光束を同一軸に合致させ、かつ線光束に整形、射出する第 1 手段と、合致した二光源光束を分割する第 2 手段とを有し、第 2 手段により、参照ミラーに二光源光束を導光、照射し、かつ線方向のみ結像させる参照光路と、試料に二光源光束の光源像を結像、照射する集光手段、及び試料からの微細な反射、散乱光を集光し光束に変換、導光する測定光路を設け、参照光路からの反射光、及び測定光路からの測定光を同一の検出手段で受光する検出光路を有し、参照光路に微量の傾斜した光路差を設けることにより、参照ミラー、及び試料からの光束が重なり合う位置に、試料面の線方向の高さ分布情報を持った干渉縞分布を形成させ、試料、及び参照鏡間の相対距離の移動、又は波長走査による干渉縞の移動を行うことなく、高さ分布情報を得ることを特徴とする干渉顕微鏡。

10

【請求項 2】

線光束は、線状に発光する素子により発せられたものであることを特徴とする請求項 1 に記載の干渉顕微鏡。

【請求項 3】

線光束は、面状に発光する素子により発せられたものであることを特徴とする請求項 1 に記載の干渉顕微鏡。

20

【請求項 4】

線光束は、点光源を直線状に並べたことを特徴とする請求項 1 に記載の干渉顕微鏡。

【請求項 5】

線光束は、点光源を非対称光学系により楕円又は線状に整形した光束を用いることを特徴とする請求項 1 に記載の干渉顕微鏡。

【請求項 6】

線光束は、点光源、又は線光源を回折光学素子又は多重反射板を用いて連続的に配列させた線状パターンであることを特徴とする請求項 1 に記載の干渉顕微鏡。

【請求項 7】

参照光路と測定光路のそれぞれが、異なる光学系から構成され、かつ測定光路との画角ずれ、及び波長分散による光路長の差を補正する手段を有したことを特徴とする請求項 1 ~ 6 のいずれか 1 項に記載の干渉顕微鏡。

30

【請求項 8】

参照光路と測定光路の少なくとも一方又は両方がファイバー等の光導波素子であることを特徴とする、請求項 1 ~ 7 のいずれか 1 項に記載の干渉顕微鏡。

【請求項 9】

2 つの光源の波長は、同一の光学系、及び検出手段で利用できる帯域であることを特徴とする請求項 1 ~ 8 のいずれか 1 項に記載の干渉顕微鏡。

【請求項 10】

光源に半導体レーザ (LD)、発光ダイオード (LED)、又は超発光ダイオード (SLD) を設けたことを特徴とする請求項 1 ~ 9 のいずれか 1 項に記載の干渉顕微鏡。

40

【請求項 11】

半導体レーザ (LD) が、発光ダイオード (LED) 的な発光あるいは超発光ダイオード (SLD) 的な発光をさせるように用いられることを特徴とする請求項 1 ~ 9 のいずれか 1 項に記載の干渉顕微鏡。

【請求項 12】

2 つの光源の少なくとも一つは、単一波長を発振するレーザ光源であることを特徴とする請求項 1 ~ 11 のいずれか 1 項に記載の干渉顕微鏡。

【請求項 13】

50

2つの光源の少なくとも一つは、駆動部に切替え機能を有し、単一波長を発振するレーザー光源、及び波長幅の広い低コヒーレンス光源の両方の使い方が可能な光源であることを特徴とする請求項1～12のいずれか1項に記載の干渉顕微鏡。

【請求項14】

2つの光源は、同時に照射されていることを特徴とする請求項1～13のいずれか1項に記載の干渉顕微鏡。

【請求項15】

2つの光源は、切替え機能を有し、交互に点灯及び消灯が可能であることを特徴とする請求項1～14のいずれか1項に記載の干渉顕微鏡。

【請求項16】

参照ミラーを固定方式で傾けることを特徴とする請求項1～15のいずれか1項に記載の干渉顕微鏡。

【請求項17】

参照ミラーを傾動方式で傾けることを特徴とする請求項1～16のいずれか1項に記載の干渉顕微鏡。

【請求項18】

参照ミラーとして、一定の段差をもつ階段状のミラーを用いることを特徴とする請求項1～14のいずれか1項に記載の干渉顕微鏡。

【請求項19】

干渉計として、マイケルソン型干渉計あるいはリンニク型干渉計を用いることを特徴とする請求項1～18のいずれか1項に記載の干渉顕微鏡。

【請求項20】

測定光路中のビーム走査手段または試料ステージの移動手段を有し、試料の1次元方向の順次線照射を可能にした請求項1～19のいずれか1項に記載の干渉顕微鏡。

【請求項21】

検出手段として、ラインセンサ、又はエリアセンサを用い、参照ミラー、及び試料からの光束がセンサー内で効率良く重なり合うよう、円筒レンズによって集光すると共に、検出手段と分割手段との距離を可能な限り短くしたことを特徴とした請求項1～20のいずれか1項に記載の干渉顕微鏡。

【請求項22】

参照光路に最小限の機能を持った光学素子として挿入するために、対物レンズと同じ焦点距離を持つシリンダーレンズを使用し、及び対物レンズの分散値と同等の効果を持つ平面ガラス基板を挿入することを特徴とする1～20のいずれか1項に記載の干渉顕微鏡。

【請求項23】

試料の二次元像を表示するための照明、結像光学系を備え、かつ、測定光路中の集光手段を光学系の一部として共用することを特徴とする観察手段を有し、それぞれの光源の切替えにより高さ検出と試料像の観察を同時、または別に行うことを可能とした請求項1～22のいずれか1項に記載の干渉顕微鏡。

【請求項24】

観察手段の照明光源は、高さ測定のための光源とは異なる波長帯の光源であることを特徴とする請求項1～23のいずれか1項に記載の干渉顕微鏡。

【請求項25】

請求項1～24のいずれか1項に記載の干渉顕微鏡を有することを特徴とする測定装置。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、干渉計、例えばマイケルソン型あるいはリンニク型に代表される干渉計を用いて、ウェハなどの試料（被測定物）の表面又は内部の凹凸を観察検査する干渉顕微鏡及び測定装置に関する。

10

20

30

40

50

【背景技術】

【0002】

従来から、入射された光を2つの光路に分割し、一方の光を試料（被測定物）に照射し、他方の光を参照ミラーに照射し、試料から反射した反射光と参照光を干渉させ、干渉縞を形成し、試料の表面内部を観察検査する、干渉計を用いた測定装置が知られている。

【0003】

特許文献1では、干渉縞を形成する際に、参照ミラーをピエゾ素子PZTで光軸方向に移動可能とし、参照光の位相を変化させる位相シフト手段を用いることで、利用できる計測レンジを広げる（非特許文献1も同様）。

【0004】

特許文献2では、合焦状態にある検査表面の一部を比較して、量 z だけ変位させ、基準ミラーが z だけ変位し、光学測定面が検査表面の適切な部分に確実に接触することになる。

【0005】

また、特許文献3では、移動鏡は、光の入射方向への移動が自在になるように配設されており、干渉光を生成する際に、周知のピエゾ駆動装置で等速動制御がされている。

【0006】

また、特許文献4では、参照ミラーを、光の照射方向に対して略垂直（干渉縞が数本できる程度にわずかに傾ける場合も含む）に固定配置することもでき、しかも光の照射方向に対して傾動可能に設けられる旨記載されている。

【0007】

また、非特許文献2では、2次元撮像素子により非走査で位相シフトを行い、参照鏡を傾けることにより、CCDに入射する物体光と参照光に異なる入射角を与えて、CCDの空間軸に対し線形に位相の異なる干渉縞を展開し、これをワンショットで撮影し、計測を行っている。そして、この手法により検出に要する時間の増加を抑えて位相シフトを行う計測が可能になっている。

【先行技術文献】

【特許文献】

【0008】

【特許文献1】特開2006-116028号公報、行番号0067、図4

【特許文献2】特表2005-530147号公報、行番号0044、図1、図3

【特許文献3】特開2006-300792号公報、行番号0023、図1

【特許文献4】特開平11-83457号公報、行番号0032、図1

【非特許文献】

【0009】

【非特許文献1】筑波大学物理工学系、筑波大学ナノサイエンス特別プロジェクト研究組織 巻田修一、安野嘉晃、遠藤隆史、伊藤雅英、谷田貝豊彦「参照波面傾斜法による位相シフトスペクトル干渉光コヒーレンストモグラフィ」第64回応用物理学学会学術講演会講演予稿集、2003年秋、福岡大学

【非特許文献2】One-shot-phase-shifting Fourier domain optical coherence tomography by reference wavefront tilting, Yoshiaki Yasuno, Shuichi Makita, Takashi Endo, Gouki Aoki, Hiroshi Sumimura, Masahide Itoh and Toyohiko Yatagai, 2004, Optical Society of America

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0010】

しかしながら、上述した従来の干渉計を用いた測定装置では、被測定物側の光学的光路

10

20

30

40

50

と、参照ミラーの配置された参照光路の光学的な光路が一致した構成になっているため、部品点数が多くなり、簡易な構成を実現できない。

【0011】

特許文献3では、透過制限装置を配置して、参照光路からの光路長の補正をおこなわなければならない、複雑な構成にすることを要する。

【0012】

また、特許文献4では、光路長を変えるために、電圧制御可変波長フィルタを設けなければならない、特許文献3と同様、複雑な構成にすることを要し、装置全体を小型化にすることができない。

【0013】

そこで、本発明は、簡易な構成により、参照ミラーをごく僅かに傾斜させるだけで、ウェハなどの試料（被測定物）の表面形状を計測することができる干渉顕微鏡及び測定装置を提供することを目的とする。

【課題を解決するための手段】

【0014】

上記課題を解決するため、本発明は、特許請求の範囲の各請求項に記載された事項を特徴とする。

【0015】

本発明の解決手段を例示すると、次のとおりである。

【0016】

(1) 有限な可干渉距離を持つ光束を二分割して、試料、及び参照ミラーに照射する二光束干渉計を用いて、試料表面の微細な凹凸、及び内部の高さ情報を観察検査する干渉顕微鏡において、

波長、及び可干渉距離の異なる二光源からの光束を同一軸に合致させ、かつ線光束に整形、射出する第1手段と、合致した二光源光束を分割する第2手段とを有し、第2手段により、参照ミラーに二光源光束を導光、照射し、かつ線方向のみ結像させる参照光路と、試料に二光源光束の光源像を結像、照射する集光手段、及び試料からの微細な反射、散乱光を集光し光束に変換、導光する測定光路を設け、参照光路からの反射光、及び測定光路からの測定光を同一の検出手段で受光する検出光路を有し、参照光路に微量の傾斜した光路差を設けることにより、参照ミラー、及び試料からの光束が重なり合う位置に、試料面の線方向の高さ分布情報を持った干渉縞分布を形成させ、試料、及び参照鏡間の相対距離の移動、又は波長走査による干渉縞の移動を行うことなく、高さ分布情報を得ることを特徴とする干渉顕微鏡。

【0017】

(2) 線光束は、線状に発光する素子により発せられたものであることを特徴とする前述の干渉顕微鏡。

【0018】

(3) 線光束は、面状に発光する素子により発せられたものであることを特徴とする前述の干渉顕微鏡。

【0019】

(4) 線光束は、点光源を直線状に並べたことを特徴とする前述の干渉顕微鏡。

【0020】

(5) 線光束は、点光源を非対称光学系により楕円又は線状に整形した光束を用いることを特徴とする前述の干渉顕微鏡。

【0021】

(6) 線光束は、点光源、又は線光源を回折光学素子又は多重反射板を用いて連続的に配列させた線状パターンであることを特徴とする前述の干渉顕微鏡。

【0022】

(7) 参照光路と測定光路のそれぞれが、異なる光学系から構成され、かつ測定光路との画角ずれ、及び波長分散による光路長の差を補正する手段を有したことを特徴とする前述

10

20

30

40

50

の干渉顕微鏡。

【0023】

(8) 参照光路と測定光路の少なくとも一方又は両方がファイバー等の光導波素子であることを特徴とする前述の干渉顕微鏡。

【0024】

(9) 2つの光源の波長は、同一の光学系、及び検出手段で利用できる帯域であることを特徴とする前述の干渉顕微鏡。

【0025】

(10) 光源に半導体レーザ(LD)、発光ダイオード(LED)、又は超発光ダイオード(SLD)を設けたことを特徴とする前述の干渉顕微鏡。

10

【0026】

(11) 半導体レーザ(LD)が、発光ダイオード(LED)的な発光あるいは超発光ダイオード(SLD)的な発光をさせるように用いられることを特徴とする前述の干渉顕微鏡。

【0027】

(12) 2つの光源の少なくとも一つは、単一波長を発振するレーザ光源であることを特徴とする前述の干渉顕微鏡。

【0028】

(13) 2つの光源の少なくとも一つは、駆動部に切替え機能を有し、単一波長を発振するレーザ光源、及び波長幅の広い低コヒーレンス光源の両方の使い方が可能な光源であることを特徴とする前述の干渉顕微鏡。

20

【0029】

(14) 2つの光源は、同時に照射されていることを特徴とする前述の干渉顕微鏡。

【0030】

(15) 2つの光源は、切替え機能を有し、交互に点灯及び消灯が可能であることを特徴とする前述の干渉顕微鏡。

【0031】

(16) 参照ミラーを固定方式で傾けることを特徴とする前述の干渉顕微鏡。

【0032】

(17) 参照ミラーを傾動方式で傾けることを特徴とする前述の干渉顕微鏡。

30

【0033】

(18) 参照ミラーとして、一定の段差をもつ階段状のミラーを用いることを特徴とする前述の干渉顕微鏡。

【0034】

(19) 干渉計として、マイケルソン型干渉計あるいはリンニク型干渉計を用いることを特徴とする前述の干渉顕微鏡。

【0035】

(20) 測定光路中のビーム走査手段または試料ステージの移動手段を有し、試料の1次元方向の順次線照射を可能にした前述の干渉顕微鏡。

【0036】

(21) 検出手段(検出器)として、ラインセンサ、又はエリアセンサを用い、参照ミラー、及び試料からの光束がセンサー内で効率良く重なり合うよう、円筒レンズによって集光すると共に、検出手段と分割手段との距離を可能な限り短くしたことを特徴とした前述の干渉顕微鏡。

40

【0037】

(22) 参照光路に最小限の機能を持った光学素子として挿入するために、対物レンズと同じ焦点距離を持つシリンダーレンズを使用し、及び対物レンズの分散値と同等の効果を持つ平面ガラス基板を挿入することを特徴とする前述の干渉顕微鏡。

【0038】

(23) 試料の二次元像を表示するための照明、結像光学系を備え、かつ、測定光路中の

50

集光手段を光学系の一部として共用することを特徴とする観察手段を有し、それぞれの光源の切替えにより高さ検出と試料像の観察を同時、または別に行うことを可能とした前述の干渉顕微鏡。

【0039】

(24) 観察手段の照明光源は、高さ測定のための光源とは異なる波長帯の光源であることを特徴とする前述の干渉顕微鏡。

【0040】

(25) 前述の干渉顕微鏡を有することを特徴とする測定装置。

【発明の効果】

【0041】

本発明によれば、簡易な構成により、参照ミラーを僅かに傾斜させるだけで、ウェハなどの被測定物(試料)の表面形状を計測できる。さらに、ごみやポールピースなどの正確な座標位置を特定し、電子顕微鏡、描画装置などの荷電粒子ビーム装置にその正確なデータを送受信して、作業効率の向上に一層貢献することができる。

【図面の簡単な説明】

【0042】

【図1】本発明の好ましい第1の実施例による干渉顕微鏡の概略を示す説明図。

【図2】(a)は第1CCDのエンベロップ波形を検出する場合の説明図。(b)は矢印で示す基準位置を検出する場合の説明図。(c)は、精密測定で第2CCD波形の位相を測定する場合の説明図。

【図3】本発明の好ましい第2の実施例による干渉顕微鏡の概略を示す説明図。

【図4】本発明の干渉顕微鏡を備えた測定装置の概略を示す説明図。

【図5】図4の測定装置を少し詳細に示す説明図。

【図6】本発明の第4の実施例による干渉顕微鏡を備えた測定装置の概略を示す説明図。

【図7】図6の実施例における反射ミラーの動作を示す説明図。

【発明を実施するための形態】

【0043】

本発明に係る干渉顕微鏡及び測定装置は、種々の干渉計を用いる。

【0044】

本発明に係る最良の実施形態では、マイケルソン型干渉計を用いる。ただし、本発明の効果奏するものであれば、リンニク型(位相シフト型)干渉計を用いてもよい。

【0045】

参考までに述べると、干渉計としてTime domain Refractometryの干渉計を用いて、例えば、以下に示す参照ミラー(Ref)の微傾動(微動量)を行うことも考えられる。

【0046】

$$= 800 \text{ nm}$$

$$= 30 \text{ nm}$$

$$\text{分解能: } Z = 2 \lambda m / \dots^2 / \\ = 9.4 \mu$$

$$\text{横分解能: } X = 4 / \dots \cdot f / d$$

$$\text{光軸方向の走査領域は、} 2Z_0 = X^2 / 2 \text{ である。}$$

【0047】

しかし、この場合は、分解能に限界があり、ウェハなどの被測定物(試料)上のごみ、ポールピースなどの超微小な領域の形状を検査することが容易ではない。

【0048】

また、Fourier domain Refractometryの干渉計を用いることも考えられる。この場合、分光、波長走査に限界があり、ウェハなどの被測定物上のごみ、ポールピースなどの超微小な領域の形状を検査することが容易ではない。

【0049】

10

20

30

40

50

本発明では、好ましくは、Reference Mirror（参照ミラー）を微量固定式又は傾動式（とくに振動式）に傾けて、干渉端の位置を計測する。例えば、参照ミラーを微量（最良の形態では15分の角度）緩やかに傾けた状態に固定しておき、あるいは、必要に応じて傾動式（とくに振動式）に傾けることによって、ラインセンサー上に干渉縞を形成する。こうすれば、レーザ光を走査させることなく、1ショットで高さ方向の干渉像を得ることができる。しかも、低コヒーレントで、マイケルソン型等の干渉計を用いて、干渉端の位置を計測することができる。

【0050】

また、本発明の他の最良の実施形態においては、ウェハなどの試料にレーザ光、好ましくは2つの波長のレーザ光、とくに半導体レーザ（LD）、発光ダイオード（LED）及び超発光ダイオード（SLD）からの2つのレーザ光を照射し、干渉計を用いて、試料の表面内部を観察検査する。半導体レーザ（LD）を用いる場合、電流に対する強度（パワー）の関係において、所定の閾値（I_{th}）を超えると、レーザ光の強度（パワー）は電流に対して比例関係（リニアな関係）になるが、所定の閾値（L_{th}）までは、いわばLED発光あるいはSLD的な発光となるので、微量な電流値に設定し、一定の光量でポットと発光するような半導体レーザ（LD）の使用によって、一つの光源（例えば半導体レーザ（LD））で干渉計を通し、試料の表面内部を観察検査することもできる。

10

【0051】

好ましくは、参照ミラーに光を導光するための参照光路が、参照ミラーと、ビームスプリッター（分離手段）との間に設けられる。そして、被測定物（試料）に光を導光するための測定光路と、その参照光路との間で、光学的光路差を設ける。

20

【0052】

好ましくは、測定光を導光するための測定光路には光学系（レンズ系）を設ける一方、参照光を導光するための参照光路には光学系（レンズ系）を設けないことによって、光路差に変化を持たせることができる。

【0053】

本発明による、干渉計を用いる干渉顕微鏡及び測定装置においては、参照光を導光する参照ミラー自体を微量傾斜させるので、レーザ光を走査させることなく、1ショットで試料の高さ方向の干渉像を得ることができる。

【0054】

本発明の他の実施形態においては、ビームスプリッター（分離手段）を中心として、入射光路、測定光路、参照光路及び検出光路を十字状に沿って設け、参照光路と測定光路において光学的光路差を設ける。しかも、参照ミラーを微量（固定式又は傾動式に）傾けて、検出手段に干渉縞を形成する。それにより、レーザ光を走査させることなく、1ショットで試料の高さ方向の干渉像を得ることを可能とする。

30

【0055】

ビームスプリッターを分離手段として設け、そのビームスプリッターにより光の一部を導光し光を反射させる。

【0056】

検出光路に設けた検出手段（検出器）は、ビームスプリッター（分離手段）により被測定物からの反射光と、参照ミラーからの反射光を受光する。そして、検出手段に干渉縞を形成する。

40

【0057】

2つの波長のレーザ光を用いることを可能とするために、レーザ光の入射光路の2つの分岐光路に、それぞれ、半導体レーザ（LD）あるいは発光ダイオード（LED）及び超発光ダイオード（SLD）を設ける。このとき、光源に近赤外帯、例えば、波長780nmと880nmの2波長の光源を用いれば、赤外帯に感度を持つ検出器一つで検出が可能である。また、半導体レーザ等の点灯、消灯が容易な素子を用いて切り替えを行うことによって、同時照射、各々の波長単独照射、及び検出も可能である。さらに、観察用光源に可視光光源を用い、可視光に感度を持つ光源を用いれば、光源が互いの検出系に及ぼす影

50

響を最小限に抑えての同時照射も可能となる。

【0058】

本発明の好ましい他の実施形態の一つにおいては、測定光路側にレンズを配置し、参照光路側にはレンズを配置しない。そうすることにより、光学的光路差を与える。さらに、参照ミラーを（固定式又は傾動式に）僅かに傾斜させて、ウェハなどの被測定物の表面形状を測定することができる。

【0059】

しかしながら、点形状ではなく、線形状を持った光源を用いる場合、光軸中心以外の点、すなわち線方向にそって、画角が生じるため、レンズを配置しない参照光では、画角方向に沿って干渉縞が傾いていくという現象が生じ、高精度な計測を妨げる要因となる。また、複数の波長の光源を用いる場合は、波長毎に測定光路側の光路長が異なるため、波長毎の干渉縞がずれてしまう。干渉顕微鏡の光学系として、同じ光学部品を使用し、これらの影響を最小限に抑えたマイケルソン型やリンニク型のものを用いるのはこのためである。

10

【0060】

本発明では、これらの影響を除去するため、好ましくは、参照光路に最小限の機能を持った光学素子を挿入する。最良の実施形態として、対物レンズと同じ焦点距離を持つシリンダーレンズを利用し、及び対物レンズの分散値と同等の効果を持つ平面ガラス基板を挿入して、補正を行う。例えば、対物レンズの焦点距離が40mmであれば、シリンダーレンズの焦点距離は40mmと決めることができる。また、使用する波長毎の対物レンズの光路長を求めることにより、 $(\text{硝材の屈折率差}) \times (\text{硝材の厚さ})$ にて求められる平面基板を挿入することにより補正が可能である。

20

【0061】

変形例として、光学的光路差を与えるために、被測定物（試料）に光を導光する測定光路側にレンズを配置せず、参照ミラーに光を導光する参照光路側にレンズを配置することも可能である。

【0062】

本発明の他の実施形態によれば、ウェハなどの試料（被測定物）の表面形状や、その表面のごみ（異物）やポールピースなどの正確な座標位置を特定し、電子顕微鏡、描画装置などの荷電粒子ビーム装置にその正確なデータを送受信して、さらに表面形状、ごみなどの異物検査、ポールピース等の検査作業を迅速に行い、半導体検査などの作業効率の向上に一層貢献することができる。

30

【実施例】

【0063】

図1は、本発明の好ましい実施例に係る測定装置の主要部を構成する干渉顕微鏡の概略を示す。

【0064】

図1に示すように、半導体レーザ（LD）あるいは発光ダイオード（LD）10、超発光ダイオード（SLD）12のいずれか2つの光源を2波長のレーザ光の光源として、とくに低コヒーレンス光源として、入射側に設ける。好ましくは、光源に近赤外帯、例えば、波長780nmと880nmの2波長の光源を用いれば、赤外帯に感度を持つ検出器一つで検出が可能である。それ以外に、例えば、波長 = 650nmの発光ダイオード（LED）や、波長 = 800nmの超発光ダイオード（SLD）、波長 = 800nm ~ 900nm程度の半導体レーザ（LD）を用いることもできる。本発明においては、その他の低コヒーレンス光源の2波長のレーザ光を用いることも可能である。

40

【0065】

分離手段として機能するビームスプリッター2を中心として、少なくとも4つの光路、すなわち入射光路4、測定光路6、参照光路8および検出光路9が十字の形に沿うように配置されている。

【0066】

50

入射光路 4 は入射ビームスプリッター 13 のところで 2 つの分岐光路 4 a, 4 b に分岐されていて、一方の分岐光路 4 a にレンズ 11 と発光ダイオード 10 が配置され、他方の分岐光路 4 b にレンズ 15 と超発光ダイオード 12 が配置されている。

【0067】

図示例では、測定光路 6 にレンズ 21 が配置されている。レーザ光は、その測定光路 6 を通って試料 23 に照射される。

【0068】

参照光路 8 には、レンズが配置されていない。そのため、レーザ光は、その参照光路 8 を通って直接参照ミラー 30 に導光される。

【0069】

この参照ミラー 30 は、図 1 に一点鎖線 29 で示されているように、参照光路 8 の光軸に対して微小量傾けて固定されている。例えば、その傾斜角度は、約 15 分（つまり 15 / 60 度）にするのが好ましい。

【0070】

なお、参照ミラー 30 は、前述のような固定方式とせず、変形例として、所望の傾斜角度内で傾動する形で傾斜させてもよい。とくに数秒（例えば 4、5 秒）から数十秒（20、30 秒）の周期で振動する方式で傾斜させてもよい。

【0071】

図示例においては、測定光路 6 にレンズ 21 を設け、参照光路 8 にレンズを設けないことで、参照光路 8 と測定光路 6 との間で光学的光路差を設けているが、変形例として、参照光路 8 にレンズ（図示せず）を設ける形で、参照光路 8 と測定光路 6 との間で光学的光路差を設けてもよい。

【0072】

また、別の変形例として、測定光を導光するための測定光路 6 中のレンズ 21 と同じレンズを、参照光を導光するための参照光路 8 中に挿脱可能に設けることができる。参照光を導光するための参照光路 8 から、そのレンズを取り出し、測定光路 6 と異なる光路長（光学的光路長）を参照光路 8 に持たせるようにしても良い。

【0073】

このように、どのような形態であっても、好ましくは、参照光路 8 と測定光路 6 の間で光学的光路差を持たせ、かつ、参照ミラー 30 を僅かに傾斜させる。例えば約 15 分（つまり 15 / 60 度）の角度だけ参照ミラー 30 を僅かに傾ける。このような参照ミラー 30 の傾斜により、試料 23 の表面を走査することなく、試料 23 からの反射光と参照ミラー 30 からの参照光とが干渉し、検出手段 16 に干渉縞が生じる。

【0074】

検出手段 16 の好ましい実施形態を説明する。光源に近赤外帯、例えば、波長 780 nm と 880 nm の 2 波長の光源を用いる。そうすれば、赤外帯に感度を持つ検出器一つで検出が可能である。また、半導体レーザ等の点灯、消灯が容易な素子を用いて切り替えを行うことによって、同時照射、各々の波長単独照射、及び検出も可能である。さらに、観察用光源に可視光光源を用い、可視光に感度を持つ光源を用いれば、光源が互いの検出系に及ぼす影響を最小限に抑えての同時照射も可能となる。

【0075】

とくに、参照光路 8 に最小限の機能を持った光学素子を挿入するのが好ましい。例えば、対物レンズと同じ焦点距離を持つシリンダーレンズを利用し、及び対物レンズの分散値と同等の効果を持つ平面ガラス基板を挿入して、補正を行う。

【0076】

また、検出手段 16 は、他の実施形態においては、集束波（波形）を検出する第 1 CCD と、定常波（波形）を検出する第 2 CCD からなり、第 1 CCD は、複数の検出器を有し、それらの検出器によって光強度に応じて周波数の異なる複数の集束波（波形）を検出する。

【0077】

10

20

30

40

50

波形（集束波）の最大値（ピーク）を求める際には、第1CCDにより取得した波形（集束波）に、第2CCDの定常波をかけて、波形（集束波）の最大値（ピーク）を浮き出させ、検出を容易にすることができる。

【0078】

集束波（波形）について、必ずしも収束端から信号を検出する必要はない。例えば、図2の横軸（x軸、空間軸）の所定位置からの信号を検出してもよい。

【0079】

本発明の他の実施形態においては、図2の（a）に示されているように、処理工程1で、第1CCDのエンベロープ波形を検出して、次の関係式から、xを求める。

【0080】

$$T e < e x$$

ただし、xはDC（電流）成分、Tは一周期を表す。

【0081】

図2の（a）に示されているエンベロープ波形の最大値の位置を基準位置として検出する。

【0082】

図2の（b）に矢印で示す位置を利用して、第1CCDのエンベロープ波形の最大値を示す位置を基準位置として求めるのが好ましい。

【0083】

図2の（c）に示されているのは、1つの周期波形である。このように、精密測定として、図2（b）に示す第2CCDの波形の位相測定を求めるのが好ましい。

【0084】

また、精密フーリエ変換で位相を求めることもできる。すなわち、ビット長微小変動したフーリエで、空間周波数の検出を行い、位相を測定する。この場合、一周期で求める精度のN周期倍の精度が得られる空間周波数は測定装置で決まる。それゆえ、温度などの条件に変化がない限り、一定であるので、空間周波数の検出は時々行えばよい。

【0085】

図3は、本発明の好ましい第2の実施例に係る干渉顕微鏡の概略を示す。

【0086】

図3において、干渉顕微鏡は、パルスレーザ66、コリメートレンズ68、ビームスプリッタ69、長作動対物レンズ74、ガラス板75、被検面77、参照ミラー70、シリンダーレンズ72、ガラス板73、長作動対物レンズ74、シリンダーレンズ76、エリアセンサ78等を有する。参照ミラー70は、破線71で示すように僅かに傾斜されて配置される。

【0087】

第2の実施例の場合も、半導体レーザ（LD）、発光ダイオード（LD）または超発光ダイオード（SLD）のレーザ光源を用いるが、発光ダイオード（LD）および超発光ダイオード（SLD）を2波長のレーザ光の光源として、とくに低コヒーレンス光源として、入射側に設ける。好ましくは、光源に近赤外帯、例えば、波長780nmと880nmの2波長の光源を用いる。そうすれば、赤外帯に感度を持つ検出器一つで検出が可能である。これに限らず、例えば、波長 = 650nmの発光ダイオード（LED）や、波長 = 800nmの超発光ダイオード（SLD）を用いてもよい。半導体レーザ（LD）を用いる場合、800nm～900nm（中心波長850nm～890nm）程度のパルスレーザを用いてもよい。半導体レーザの場合、電流（I）に対する強度（パワー、P）の関係において、所定の閾値（I_{th}）を超えると、レーザ光の強度（パワー）は電流に対して比例関係（リニアな関係）になるが、所定の閾値（L_{th}）までは、いわばLED発光あるいはSLD的な発光となるので、微量な電流値に設定し、一定の光量でポーッと発光するような半導体レーザ（LD）の使用によって、一つの光源（例えば半導体レーザ（LD））で干渉計を通し、試料の表面内部を観察検査することもできる。また、発光ダイオード（LED）を光源として用いる場合、コリメータレンズ等によって集光させた後、数

10

20

30

40

50

ナノあるいは数マイクロ程度の幅の極めて狭いスリットを設けることで、線幅数 μm (例えば $2 \sim 3 \mu\text{m}$)、長さ略 $250 \sim 300 \mu\text{m}$ 程度の線状光束にして試料に照射してもよい。

【0088】

また、半導体レーザ等の点灯、消灯が容易な素子を用いて切り替えを行うことによって、同時照射、各々の波長単独照射、及び検出も可能である。さらに、観察用光源に可視光源を用い、可視光に感度を持つ光源を用いれば、光源が互いの検出系に及ぼす影響を最小限に抑えての同時照射も可能である。

【0089】

本発明では、半導体レーザ(LD)であるパルスレーザ66を上記のようにLED発光させ、パルスレーザ66直後のコリメータレンズの像側に数ナノあるいは数マイクロ程度の幅の極めて狭いスリット80を配置することで、線幅数 μm (例えば $2 \sim 3 \mu\text{m}$)、長さ略 $250 \sim 300 \mu\text{m}$ 程度の線状光束にして試料に照射する。また、参照ミラー70(Reference Mirror)を符号71で示すように微量固定式又は傾動式(とくに振動式)に傾けて、干渉端の位置を計測する。例えば、参照ミラー70を微量(最良の形態では15分(つまり15/60度)の角度)緩やかに傾けた状態に固定しておき、あるいは、必要に応じて傾動式(とくに振動式)に傾けることによって、エリアセンサ78上に干渉縞を形成する。こうすれば、レーザ光を走査させることなく、1ショットで高さ方向の干渉像を得ることができる。しかも、低コヒーレントで、マイケルソン型等の干渉計を用いて、干渉端の位置を計測することができる。

10

20

【0090】

図4~5を参照して、本発明に係る干渉顕微鏡を備えた測定装置の一例を説明する。

【0091】

測定装置である複合型観察装置110においては、装置本体111が、制御部112に接続されている。装置本体111は、試料室113と、載置台機構114と、観察光学系115と、走査型電子顕微鏡116、駆動部117とを備えている。走査型電子顕微鏡116は、以下では、SEM(Scanning Electron Microscope)116ともいう。

【0092】

試料室113は、気密空間を形成するための筐体である。図示は略すが、試料室113には、試料23(観察対象)の出し入れのための扉が設けられている。この試料室113は、気密性を有する構成とされており、真空装置119が設けられている。この真空装置119は、駆動部117からの駆動信号に応じて駆動され、試料室113を真空状態とする。この試料室113の内方に載置台機構114が設けられている。

30

【0093】

載置台機構114は、載置台120と台移動部121とを有する。載置台120は、観察対象118を載置するための載置面120aを形成する。この載置台120は、図示は略すが、載置面120aに載置された観察対象118を固定的に保持可能とされており、台移動部121による移動により載置面120a上で試料23が位置ずれをすることが防止されている。台移動部121は、載置面120aがXY平面と平行な状態を維持しつつ、XY平面に沿って移動可能にかつZ方向に移動可能に載置台120を保持する。この台移動部121は、駆動部117からの駆動信号に応じて載置台120をXY平面に沿って移動させ、かつZ方向に移動させる。この載置台機構114では、図示は略すが、台移動部121による載置台120(載置面120a)の移動のための基準位置が設定されている。

40

【0094】

この基準位置とされた載置台120(載置面120a)の中心を通りZ方向に沿う測定光路6の観察光軸115aを有するように、観察光学系115が設けられている。観察光学系115は、試料室113に気密的に取り付けられており、例えば走査型電子顕微鏡(SEM)116と計測光学系、すなわち干渉顕微鏡123とが組み合わされ、単一の対物

50

レンズを共有する構成とされている。この走査型電子顕微鏡 1 1 6 と干渉顕微鏡 1 2 3 とは、互いに共通の観察光軸 1 1 5 a とされている。観察光学系 1 1 5 では、干渉顕微鏡 1 2 3 が、光学顕微鏡 1 2 2 の分解能よりも高い分解能とされており、高さ方向（Z 方向）の寸法の計測が可能とされている。また、干渉顕微鏡 1 2 3 は、SEM 1 1 6 よりも低い分解能とされており、当該 SEM 1 1 6 と光学顕微鏡 1 2 2 との中間の分解能を有する設定とされている。例えば、干渉顕微鏡 1 2 3 は、おおよそ 1 0 0 0 倍位の分解能を有し、SEM 1 1 6 は、1 ~ 3 万倍位の分解能を有している。このような干渉顕微鏡 1 2 3 としては、例えば共焦点顕微鏡、レーザ顕微鏡または干渉計を用いることにより形成することができる。この干渉顕微鏡 1 2 3 および SEM 1 1 6 は、それぞれの分解能において後述する表示器 1 2 5（表示画面 1 2 5 a）により表示可能な領域に応じた領域で、試料 2 3 を観察（画像データの取得）可能である。換言すると、計測光学系 1 2 3 および SEM 1 1 6 は、それぞれの分解能に応じた大きさ寸法の領域を観察する（当該領域の画像データを取得する）ように設定されている。

10

【0095】

観察光学系 1 1 5 には、干渉顕微鏡 1 2 3 により取得される試料 2 3 からの画像データ（反射された光）を受光するための受光部 1 2 4 が設けられ、受光部 1 2 4 で受信された画像データは、電気信号に変換されて駆動部 1 1 7 を経て制御部 1 1 2 に送信される。この観察光学系 1 1 5 では、駆動部 1 1 7 からの駆動信号に応じて、SEM 1 1 6 と干渉顕微鏡 1 2 3 における倍率の変更、SEM 1 1 6 と干渉顕微鏡 1 2 3 との切り換え等がなされる。

20

【0096】

駆動部 1 1 7 は、観察光学系 1 1 5、SEM 1 1 6、載置台機構 1 1 4 および真空装置 1 1 9 に電氣的に接続されており、これらを駆動すべく駆動信号を送信可能とされている。この駆動部 1 1 7 に制御部 1 1 2 が接続されている。

【0097】

制御部 1 1 2 には、表示器 1 2 5 と指示器 1 2 6 とが接続されている。表示器 1 2 5 は、表示画面 1 2 5 a を有し、制御部 1 1 2 により駆動制御される。この表示画面 1 2 5 a に、観察光学系 1 1 5（干渉顕微鏡 1 2 3）により取得された観察画像および SEM 1 1 6 により取得された観察画像が適宜表示される。

30

【0098】

指示器 1 2 6 は、測定装置である複合型観察装置 1 1 0 を使用するために操作可能なものであり、為された操作が制御部 1 1 2 により読み取られる。この指示器 1 2 6 は、表示領域を示す記号の表示の有無、当該記号の移動、干渉顕微鏡 1 2 3 と SEM 1 1 6 との切り換え操作、この干渉顕微鏡 1 2 3 と SEM 1 1 6 における倍率の調整等のために操作される。

【0099】

制御部 1 1 2 は、表示器 1 2 5 および装置本体 1 1 1 を統括的に制御するものであり、装置本体 1 1 1 の各構成部を駆動すべく駆動部 1 1 7 に制御信号を適宜送信する。また、制御部 1 1 2 は、観察光学系 1 1 5 により取得された観察画像および SEM 1 1 6 により取得された観察画像を表示画面 1 2 5 a に表示させるべく表示器 1 2 5 を駆動制御するとともに、観察画像を表示させた表示画面 1 2 5 a 上に表示領域を示す記号を表示させるべく表示器 1 2 5 を駆動制御する。この表示領域を示す記号としては、例えば、計測表示枠と、電子表示枠と、電子表示点とがある。計測表示枠は、表示画面 1 2 5 a に観察光学系 1 1 5 の干渉顕微鏡 1 2 3 の分解能で見た表示領域の大きさ寸法、すなわち当該干渉顕微鏡 1 2 3 により取得された観察画像（計測観察画像）として表示画面 1 2 5 a に一時に表示可能な領域である計測表示領域を示すものである。また、電子表示枠は、表示画面 1 2 5 a に観察光学系 1 1 5 の干渉顕微鏡 1 2 3 により取得された計測観察画像が表示されている際に、この計測観察画像上において、SEM 1 1 6 の分解能で見た表示領域の大きさ寸法、すなわち当該 SEM 1 1 6 により取得された観察画像（電子観察画像 1 3 2）として表示画面 1 2 5 a に一時に表示可能な領域である電子表示領域を示すものである。

40

50

【0100】

また、制御部112には、記憶部127が設けられている。この記憶部127は、制御部112の制御下で、表示画面125aに表示させた各観察画像（光学観察画像、計測観察画像および電子観察画像）を格納可能（観察画像としての画像データを格納可能）であるとともに、各観察画像間での位置情報を格納可能である。この記憶部127への格納は、指示器126に為された操作に応じて為されるものでも、表示画面125aに表示させたものは全て為されるものでもよい。

【0101】

また、制御部112は、表示画面125aに観察画像を表示させている場合、当該観察画像に関連する他の観察画像を記憶部127に格納していると、格納している他の観察画像の位置に合致する計測表示枠（以下、既知計測枠、電子表示枠（以下、既知電子枠という）および電子表示点（以下、既知電子点という）を表示することができる。

10

【0102】

本実施例では、既知計測枠、既知電子枠および既知電子点は、これからの観察画像の取得のために表示する計測表示枠、電子表示枠および電子表示点と同様のものである。このため、計測表示枠、電子表示枠および電子表示点と、既知計測枠、既知電子枠および既知電子点とは、例えば互いの色を異なるものとして表示する等のように一見して判別できるものとするのが望ましい。

【0103】

また、制御部112は、本実施例では、複合型観察装置110の装置本体111の制御のためのソフト（プログラム）がインストールされたコンピュータで構成され、表示器25は、モニタで構成され、指示器26は、コンピュータに接続されたマウス（キーボード）で構成されている。

20

【0104】

また、図4～5の実施例では、電子顕微鏡116の資料室113に干渉顕微鏡123を設けたが、図6に示すように、電子顕微鏡116の代わりに、例えば分光計のような光学系の鏡筒に干渉顕微鏡123を設けることもできる。その際、図7に示すように、電子線128と同じ軸になるように、干渉顕微鏡123からのLED又はLDレーザ光を試料に照射させるために、反射ミラー129を設置し、SEMを用いる場合には、反射ミラー129が回転し、電子線軸から反射ミラー129が外れるようにすることができる。

30

【0105】

図7において、129aは、電子顕微鏡116の代わりに配置した分光計116の使用時の反射ミラー129の位置を示し、129bは、干渉顕微鏡123の使用時の反射ミラー129の位置を示す。反射ミラー129は、分光計116を用いる場合には、電子線128の光軸から外れるように129bの位置から129aの位置に回転する。

【0106】

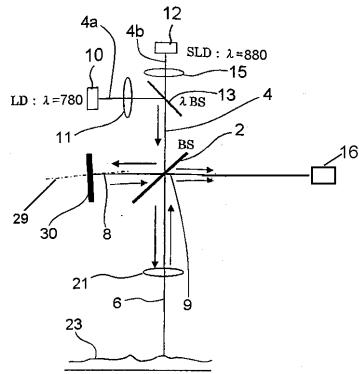
なお、上記実施例では、観察光学系に干渉顕微鏡を備えた場合を述べたが、本発明は、これに限定されない。例えば光学顕微鏡を、干渉顕微鏡と共に配置することもできる。

【0107】

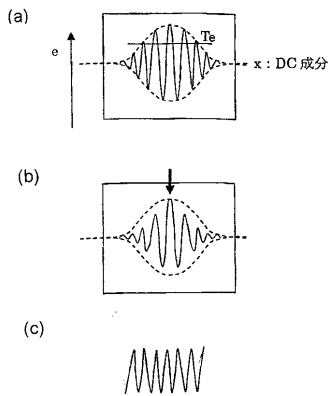
なお、130はLED又はLDレーザ光を示す。

40

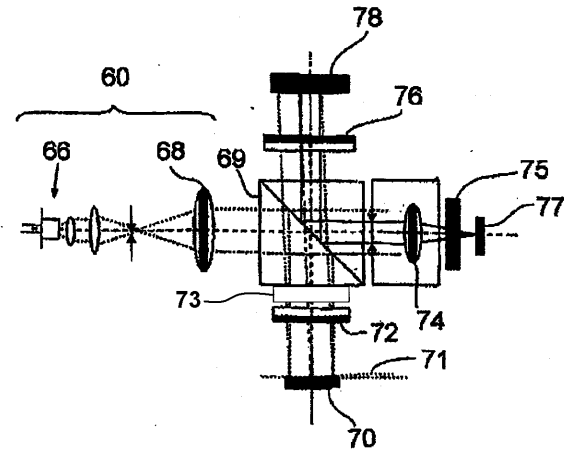
【 図 1 】



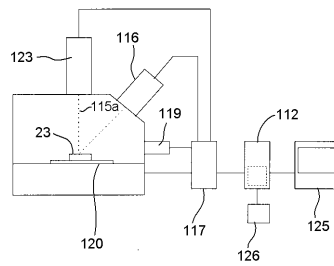
【 図 2 】



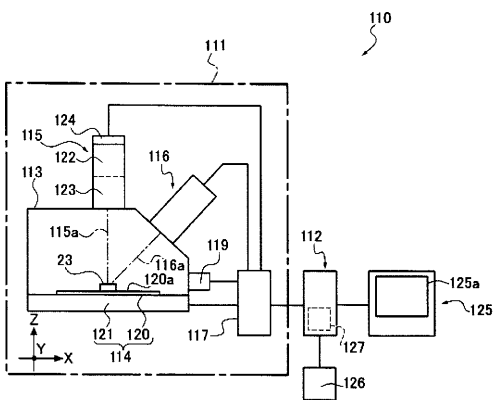
【 図 3 】



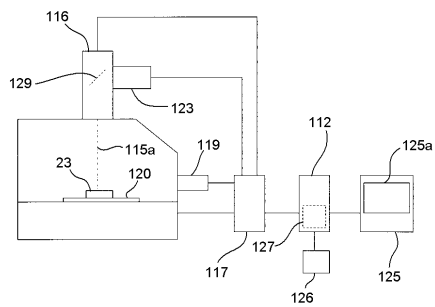
【 図 4 】



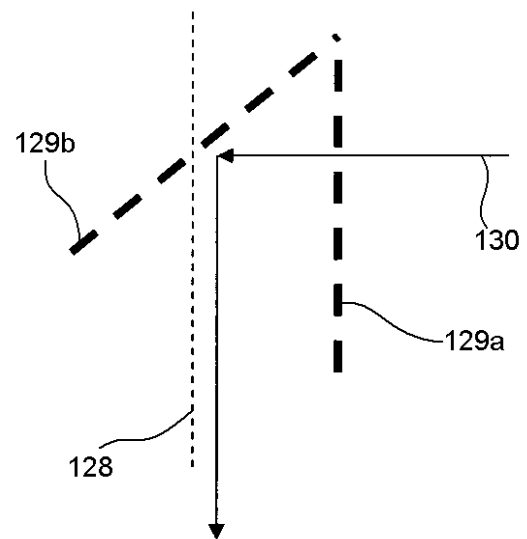
【 図 5 】



【 図 6 】



【 図 7 】



フロントページの続き

(72)発明者 磯崎 久

東京都板橋区蓮沼町7 5 番 1 号 株式会社トプコン内

(72)発明者 宮川 一宏

東京都板橋区蓮沼町7 5 番 1 号 株式会社トプコン内

F ターム(参考) 2F064 AA09 DD08 EE01 FF01 FF06 GG12 GG22 GG44 HH06 HH07
2F065 AA24 AA49 AA60 BB03 CC19 DD02 FF52 GG06 GG07 GG21
GG23 HH03 HH05 JJ02 JJ03 JJ05 JJ25 JJ26 LL08 LL12
LL46 LL67 NN02 PP24 QQ24 QQ29 QQ44 SS02
2H052 AA04 AB24 AC04 AC16 AC18 AC27 AC33 AC34 AF04