

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特 許 公 報(B2)

(11) 特許番号

特許第5330749号
(P5330749)

(45) 発行日 平成25年10月30日(2013.10.30)

(24) 登録日 平成25年8月2日(2013.8.2)

(51) Int.Cl.		F I	
GO 1 B 11/24	(2006.01)	GO 1 B 11/24	D
GO 1 B 9/02	(2006.01)	GO 1 B 9/02	
GO 2 B 21/06	(2006.01)	GO 2 B 21/06	
GO 2 B 21/36	(2006.01)	GO 2 B 21/36	

請求項の数 2 (全 9 頁)

(21) 出願番号	特願2008-172321 (P2008-172321)	(73) 特許権者	000220343 株式会社トプコン 東京都板橋区蓮沼町75番1号
(22) 出願日	平成20年7月1日(2008.7.1)	(74) 代理人	100074538 弁理士 田辺 徹
(65) 公開番号	特開2010-14426 (P2010-14426A)	(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
(43) 公開日	平成22年1月21日(2010.1.21)	(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
審査請求日	平成23年6月28日(2011.6.28)	(72) 発明者	磯崎 久 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】 測定装置

(57) 【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、

線光束を整形し分割する手段を有し、参照ミラーに光束を導光、照射する参照光路と、試料に光束を点に集光して照射する集光手段、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、参照光路に微小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、試料の垂直方向の移動、又は干渉縞の移動を行うことなく、高さ分布情報が得られ、しかも、干渉縞が生じる検出手段を設け、その検出手段は、集束波（波形）を検出するCCDaと、定常波（波形）を検出するCCDbからなり、CCDa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）を検出するものであり、波形（集束波）の最大値（ピーク）を求める際に、CCDaにより取得した波形（集束波）に、CCDb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、かつ、CCDbの1ビットをスケールの基準として校正することを特徴とする測定装置。

【請求項2】

有限な可干渉距離を持つ点光源から整形した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、

参照ミラーに光束を導光、照射する参照光路と、試料に光束を点に集光して照射する集光手段、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、参照光路に微小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高さ情報を持った干渉縞を形成させ、試料の垂直移動、または干渉縞の移動を行うことなく、高さ情報の取得が可能であり、しかも、干渉縞が生じる検出手段を設け、その検出手段は、集束波（波形）を検出するCCDaと、定常波（波形）を検出するCCDbからなり、CCDa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）を検出するものであり、波形（集束波）の最大値（ピーク）を求める際に、CCDaにより取得した波形（集束波）に、CCDb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、かつ、CCDbの1ピットをスケールの基準として校正することを特徴とする測定装置。

10

【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顕微鏡を用いて、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測定装置に関する。

【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。

20

【0003】

特許文献1では、干渉縞を形成する際に、参照ミラーを piezo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。

30

【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 piezo 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。

40

【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1】筑波大学理工学系、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

50

シフトスペクトル干渉光コヒーレンストモグラフィー」第64回応用物理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

【発明の開示】

10

【発明が解決しようとする課題】

【0008】

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と、参照ミラーの配置された参照光路の光学的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。

【0009】

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。

【0010】

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。

20

【0011】

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】

【0012】

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。

30

【発明の効果】

【0013】

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。

【発明を実施するための最良の形態】

【0014】

本発明に係る測定装置は、種々の干渉計を用いる。

【0015】

40

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。

【0016】

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。

【0017】

$$= 800 \text{ nm}$$

$$= 30 \text{ nm}$$

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

50

$$= 9.4 \mu$$

横分解能： $X = 4 \lambda / \sin \theta \cdot f / d$

光軸方向の走査領域は、 $2Z_0 = X^2 / 2$ である。

【0018】

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。

【0019】

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。

10

【0020】

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。

【0021】

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（Ith）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（Lth）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。

20

【0022】

好ましくは、参照ミラーに光を導光するための参照光路を参照ミラーと、ビームスプリッターとの間に設ける。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。

30

【0023】

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。

【0024】

本発明による、干渉計を用いる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と、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。

40

【0025】

本発明の他の最良の実施形態においては、ビームスプリッターを中心として、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。

【0026】

ビームスプリッターを偏光手段として設け、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。

50

【 0 0 2 7 】

検出光路に設けた検出手段は、ビームスプリッター（偏光手段）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。

【 0 0 2 8 】

2つの波長のレーザー光を用いることを可能とするために、レーザー光の入射光路の2つの分岐光路に、それぞれ、半導体レーザー（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。

【 0 0 2 9 】

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。

10

【 0 0 3 0 】

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。

【 0 0 3 1 】

本発明の最良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。

20

【実施例】

【 0 0 3 2 】

図1は、本発明の好ましい実施例に係る測定装置の概略を示す。

【 0 0 3 3 】

図1の(A)に示すように、半導体レーザー（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波長のレーザー光の光源として、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、波長 = 650 nmの発光ダイオード（LED）や、波長 = 800 nmの超発光ダイオード（SLD）、波長 = 800 nm ~ 900 nm程度の半導体レーザー（LD）などを用いる。

30

【 0 0 3 4 】

ただし、本発明においては、その他の低コヒーレンス光源の2波長のレーザー光を用いることも可能である。

【 0 0 3 5 】

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。

【 0 0 3 6 】

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4a, 4bに分岐されていて、一方の分岐光路4a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4bにレンズ15と超発光ダイオード12が配置されている。

40

【 0 0 3 7 】

検出光路9も、入射ビームスプリッター17のところで2つの分岐光路9a, 9bに分岐されていて、一方の分岐光路9aに検出手段16の一方のCCD a 18が配置されており、他方の分岐光路9bに検出手段16の他方のCCD b 20が配置されている。

【 0 0 3 8 】

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

【 0 0 3 9 】

参照光路8には、レンズが配置されていない。そのため、レーザー光は、その参照光路8

50

を通過して直接参照ミラー 30 に導光される。

【0040】

この参照ミラー 30 は、図 1 (A) 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。

【0041】

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 (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。

【0042】

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。

10

【0043】

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よい。

【0044】

このように、どのような形態であっても、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。

20

【0045】

検出手段 16 は、集束波 (波形) を検出する CCD a 18 と、定常波 (波形) を検出する CCD b 20 からなる。一方の CCD a 18 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。

【0046】

図 1 の (B) は、3 つの検出器 18 a, 18 b, 18 c の例を示している。図 1 の (B) において、下から順に、3 つの検出器 18 a, 18 b, 18 c が配置されている。それらに対応して 3 つのハーフミラー 18 d, 18 e, 18 f が設けられていて、それぞれ右側に示すような集束波 (9 / 10, 9 / 100, 1 / 100) を検出する。

30

【0047】

図 1 の (C) に示すように、波形 (集束波) の最大値 (ピーク) を求める際には、CCD a 18 により取得した波形 (集束波) に、CCD b 20 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好ましい。

【0048】

好ましくは、CCD b 20 の 1 ビット (例えば 256) をスケールの基準として校正する。例えば、1 / 256 で細分化し、1 ビット (例えば 256) を掛ける。

40

【0049】

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。CCD b 20 の 1 ビットを用いることで、自由に信号の検出範囲を決めることができる。

【0050】

本発明の最良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、CCD a 18 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。

【0051】

$$T e < e x$$

50

ただし、 x は DC (電流) 成分、 T は一周期を表す。

【 0 0 5 2 】

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。

【 0 0 5 3 】

図 2 の (b) に矢印で示す位置を利用して、CCD a 1 8 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。

【 0 0 5 4 】

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 CCD b 2 0 の波形の位相測定を求めるのが好ましい。

10

【 0 0 5 5 】

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。

【 0 0 5 6 】

図 3 は、本発明の好ましい第 2 の実施例に係る測定装置の概略を示す。

【 0 0 5 7 】

図 3 において、測定装置は、パルスレーザ 6 6、コリメートレンズ 6 8、ビームスプリッタ 6 9、長作動対物レンズ 7 4、ガラス板 7 5、被検面 7 7、参照ミラー 7 0、シリンダーレンズ 7 2、長作動対物レンズ 7 4、シリンダーレンズ 7 6、エリアセンサ 7 8 等を有する。参照ミラー 7 0 は、破線 7 1 で示すように僅かに傾斜されて配置される。

20

【 0 0 5 8 】

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、波長 = 650 nm の発光ダイオード (LED) や、波長 = 800 nm の超発光ダイオード (SLD) などを用いる。半導体レーザ (LD) を用いる場合、800 nm ~ 900 nm (中心波長 850 nm ~ 890 nm) 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 ~ 3 μm)、長さ略 250 ~ 300 μm 程度の線状光束にして試料に照射してもよい。

30

【 0 0 5 9 】

本発明では、半導体レーザ (LD) であるパルスレーザ 6 6 を上記のように LED 発光させ、パルスレーザ 6 6 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 8 0 を配置することで、線幅数 μm (例えば 2 ~ 3 μm)、長さ略 250 ~ 300 μm 程度の線状光束にして試料に照射する。また、参照ミラー 7 0 (Reference Mirror) を符号 7 1 で示すように微小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 7 0 を微小量 (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 7 8 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

40

50

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。

【図面の簡単な説明】

【0060】

【図1】(A)は、本発明の好ましい第1の実施例による測定装置の概略を示す説明図。(B)は、CCDaの3つの検出器の波形を並べて示す。(C)は、CCDaとCCDbの波形を並べて示す。

【図2】(a)はCCDaのエンベロー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CCDb波形の位相を測定する場合の説明図。

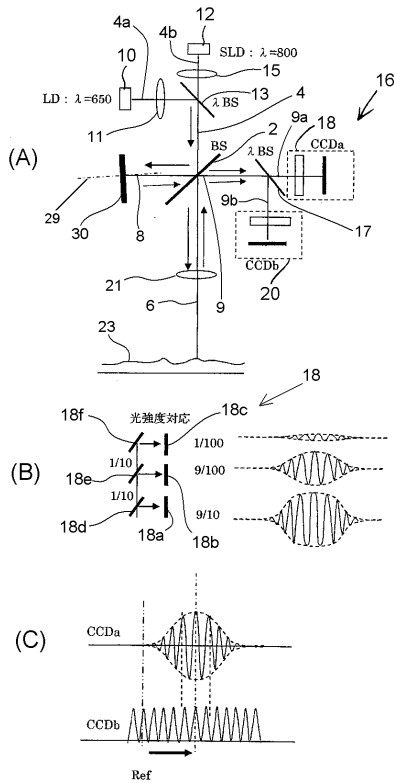
【図3】本発明の好ましい第2の実施例による測定装置の概略を示す説明図。

【符号の説明】

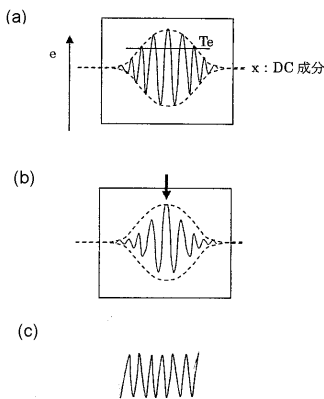
【0061】

- 10 発光ダイオード
- 12 超発光ダイオード
- 16 検出手段
- 18 CCDa
- 20 CCDb

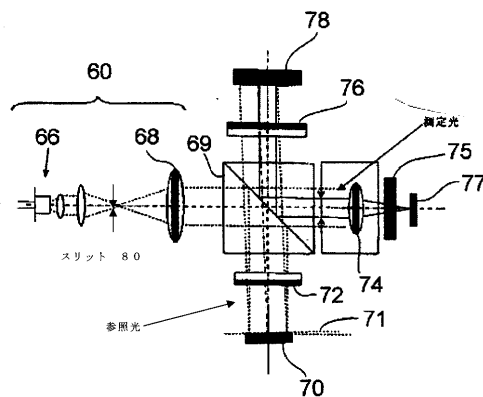
【図1】



【図2】



【図3】



フロントページの続き

(72)発明者 宮川 一宏
東京都板橋区蓮沼町75番1号 株式会社トプコン内

審査官 公文代 康祐

(56)参考文献 国際公開第2007/088789(WO, A1)
特開2006-116028(JP, A)
特開平05-209841(JP, A)
特開2005-043250(JP, A)
特開2001-330509(JP, A)
特開2006-184162(JP, A)
特開2000-338242(JP, A)
特開2006-084334(JP, A)
特開平11-083457(JP, A)
特開平07-120212(JP, A)
特開平01-235807(JP, A)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)
G01B 11/24
G01B 9/00
G02B 21/00