

(19) 日本国特許庁 (JP)

(12) 特 許 公 報 (B2)

(11) 特許番号

特許第4950813号  
(P4950813)

(45) 発行日 平成24年6月13日 (2012. 6. 13)

(24) 登録日 平成24年3月16日 (2012. 3. 16)

(51) Int. Cl.

F I

GO 1 N 21/21 (2006. 01)

GO 1 N 21/21 Z

GO 1 J 3/447 (2006. 01)

GO 1 J 3/447

GO 1 J 4/04 (2006. 01)

GO 1 J 4/04 Z

請求項の数 13 (全 21 頁)

(21) 出願番号 特願2007-223897 (P2007-223897)  
 (22) 出願日 平成19年8月30日 (2007. 8. 30)  
 (65) 公開番号 特開2009-58259 (P2009-58259A)  
 (43) 公開日 平成21年3月19日 (2009. 3. 19)  
 審査請求日 平成22年5月28日 (2010. 5. 28)

(73) 特許権者 000207551  
 大日本スクリーン製造株式会社  
 京都府京都市上京区堀川通寺之内上る4丁目天神北町1番地の1  
 (74) 代理人 100110847  
 弁理士 松阪 正弘  
 (72) 発明者 堀江 正浩  
 京都府京都市上京区堀川通寺之内上る4丁目天神北町1番地の1 大日本スクリーン製造株式会社内  
 (72) 発明者 赤鹿 久美子  
 京都府京都市上京区堀川通寺之内上る4丁目天神北町1番地の1 大日本スクリーン製造株式会社内

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 分光エリブソメータ、膜厚測定装置および分光エリブソメータのフォーカス調整方法

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項 1】

分光エリブソメータであって、  
 測定面を有する対象物を保持する保持部と、  
 前記対象物を前記保持部と共に前記測定面に垂直な方向に移動する昇降機構と、  
 偏光した光を前記測定面へと傾斜しつつ入射させる照明部と、  
 前記測定面からの前記偏光した光の反射光が入射する検光子と、  
 前記検光子を経由した前記反射光を分光する分光デバイスと、  
 前記分光デバイスからの分光光を受光して前記反射光の分光強度を取得する受光デバイスと、

前記受光デバイスからの出力に基づいて前記反射光の波長毎の偏光状態を取得する偏光状態取得部と、

前記測定面がフォーカス位置から上下にずれた際に前記反射光の前記分光デバイスへの入射を制限する入射制限部と、

前記昇降機構により前記測定面を移動しつつ前記受光デバイスにより受光される光の少なくとも一部の波長帯の合計光量を求めることにより、前記測定面の昇降位置と前記合計光量との関係を取得するフォーカス情報取得部と、  
 を備えることを特徴とする分光エリブソメータ。

【請求項 2】

請求項 1 に記載の分光エリブソメータであって、

前記測定面の昇降位置と前記合計光量との前記関係から所定の演算にて求められる位置と前記フォーカス位置との間の距離を示す補正値を予め記憶する補正値記憶部と、

前記補正値を用いて前記フォーカス位置を求めるフォーカス位置決定部と、  
をさらに備えることを特徴とする分光エリプソメータ。

【請求項 3】

請求項 1 または 2 に記載の分光エリプソメータであって、

前記検光子を光軸に平行な中心軸を中心として回転する回転機構をさらに備え、

前記測定面の昇降位置と前記合計光量との前記関係を求める際に、前記測定面を所定の昇降位置に位置させた状態で前記検光子が回転され、前記合計光量が最大値を示す回転位置にて前記検光子が固定されることを特徴とする分光エリプソメータ。

10

【請求項 4】

請求項 1 ないし 3 のいずれかに記載の分光エリプソメータであって、

前記受光デバイスが、前記反射光の分光方向に平行に複数の受光素子が配列された受光素子アレイであり、前記測定面が前記フォーカス位置から上下にずれた際に、前記分光デバイスからの分光光が、前記受光デバイスの受光面上において前記分光方向に垂直な方向に移動することを特徴とする分光エリプソメータ。

【請求項 5】

分光エリプソメータであって、

測定面を有する対象物を保持する保持部と、

前記対象物を前記保持部と共に前記測定面に垂直な方向に移動する昇降機構と、

偏光した光を前記測定面へと傾斜しつつ入射させる照明部と、

前記測定面からの前記偏光した光の反射光が入射する検光子と、

前記検光子を経由した前記反射光を分光する分光デバイスと、

前記分光デバイスからの分光光を受光して前記反射光の分光強度を取得する第 1 受光デバイスと、

20

前記第 1 受光デバイスからの出力に基づいて前記反射光の波長毎の偏光状態を取得する偏光状態取得部と、

前記分光デバイスからの 0 次回折光が導かれ、前記測定面がフォーカス位置に位置する際に前記測定面と光学的に共役な位置に位置する微小開口を有する微小開口部材と、

前記微小開口部材を通過した光の強度を取得する第 2 受光デバイスと、  
を備えることを特徴とする分光エリプソメータ。

30

【請求項 6】

請求項 5 に記載の分光エリプソメータであって、

前記昇降機構により前記測定面を移動しつつ前記第 2 受光デバイスからの出力を取得することにより、前記測定面の昇降位置と前記第 2 受光デバイスの出力との関係を取得するフォーカス情報取得部をさらに備えることを特徴とする分光エリプソメータ。

【請求項 7】

請求項 6 に記載の分光エリプソメータであって、

前記測定面の昇降位置に対する前記第 2 受光デバイスの出力の極大位置を前記フォーカス位置として取得するフォーカス位置決定部をさらに備えることを特徴とする分光エリプソメータ。

40

【請求項 8】

請求項 7 に記載の分光エリプソメータであって、

前記測定面の昇降位置に対して前記第 2 受光デバイスの出力に複数の極大位置が存在する場合に、前記複数の極大位置のうち前記測定面が最も下降している位置が前記フォーカス位置とされることを特徴とする分光エリプソメータ。

【請求項 9】

請求項 6 ないし 8 のいずれかに記載の分光エリプソメータであって、

前記検光子を光軸に平行な中心軸を中心として回転する回転機構をさらに備え、

前記測定面の昇降位置と前記第 2 受光デバイスの出力との前記関係を求める際に、前記

50

測定面を所定の昇降位置に位置させた状態で前記検光子が回転され、前記第2受光デバイスの出力が最大値を示す回転位置にて前記検光子が固定されることを特徴とする分光エリプソメータ。

【請求項10】

対象物上に形成された膜の厚さを測定する膜厚測定装置であって、

対象物上の測定面に偏光した光を照射する請求項1ないし9のいずれかに記載の分光エリプソメータと、

前記分光エリプソメータにより取得された反射光の波長毎の偏光状態に基づいて前記測定面に存在する膜の厚さを求める膜厚演算部と、

を備えることを特徴とする膜厚測定装置。

10

【請求項11】

分光エリプソメータのフォーカス調整方法であって、

a) 偏光した光を対象物上の測定面へと傾斜しつつ入射させる工程と、

b) 前記測定面からの前記偏光した光の反射光を分光デバイスにより分光する工程と、

c) 前記分光デバイスからの分光光を受光デバイスにて受光して前記反射光の分光強度を取得し、前記反射光の少なくとも一部の波長帯の合計光量を求める工程と、

d) 前記測定面がフォーカス位置から上下にずれた際に前記反射光の前記分光デバイスへの入射を制限する入射制限部が設けられた状態で、前記測定面を前記測定面に垂直な方向に移動しつつ前記a)工程ないし前記c)工程を繰り返すことにより、前記測定面の昇降位置と前記合計光量との関係を求める工程と、

20

e) 前記測定面の昇降位置と前記合計光量との前記関係に基づいて前記フォーカス位置を求める工程と、

f) 前記測定面を前記フォーカス位置へと移動する工程と、

を備えることを特徴とする分光エリプソメータのフォーカス調整方法。

【請求項12】

請求項11に記載の分光エリプソメータのフォーカス調整方法であって、

前記e)工程よりも前に、

g) 前記偏光した光を対象物上の散乱面へと導く工程と、

h) 前記散乱面における前記偏光した光の照射領域を観察する工程と、

i) 前記散乱面を前記散乱面に垂直な方向に移動しつつ前記g)工程および前記h)工程を繰り返し、前記照射領域の面積が最小となる前記散乱面の昇降位置をフォーカス位置として求める工程と、

30

j) 前記測定面に代えて前記対象物上において前記散乱面に平行な平滑面に対して前記a)ないし前記d)工程を実行することにより、前記平滑面の昇降位置と合計光量との関係を取得し、前記e)工程における前記フォーカス位置の算出に利用される情報を生成する工程と、

を備えることを特徴とする分光エリプソメータのフォーカス調整方法。

【請求項13】

分光エリプソメータのフォーカス調整方法であって、

a) 偏光した光を対象物上の測定面へと傾斜しつつ入射させる工程と、

40

b) 前記測定面からの前記偏光した光の反射光を分光デバイスにより受光する工程と、

c) 前記分光デバイスからの分光光を受光する第1受光デバイスとは独立して設けられた第2受光デバイスにより、前記分光デバイスからの0次回折光を、前記測定面がフォーカス位置に位置する際に前記測定面と光学的に共役な位置に位置する微小開口を介して受光する工程と、

d) 前記測定面を前記測定面に垂直な方向に移動しつつ前記a)工程ないし前記c)工程を繰り返すことにより、前記測定面の昇降位置と前記第2受光デバイスの出力との関係を求める工程と、

e) 前記測定面の昇降位置と前記第2受光デバイスの出力との前記関係に基づいて前記フォーカス位置を求める工程と、

50

f) 前記測定面を前記フォーカス位置へと移動する工程と、  
を備えることを特徴とする分光エリプソメータのフォーカス調整方法。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、分光エリプソメータおよびそのフォーカス調整方法に関し、また、当該分光エリプソメータを備える膜厚測定装置に関する。

【背景技術】

【0002】

従来より、対象物上に存在する膜の厚さや表面状態を測定する光学式の測定装置としてエリプソメータが利用されている。エリプソメータでは、偏光した光（以下、「偏光光」という。）を対象物の測定面上に斜めから照射し、その反射光の偏光状態を取得して偏光解析することにより基板上的膜厚や測定面の表面状態が測定される。例えば、特許文献1および特許文献2では、反射光の波長毎の偏光状態に基づいて対象物上の薄膜に対する各種測定（例えば、膜厚測定）を行う分光エリプソメータが開示されている。

10

【特許文献1】米国特許第5608526号明細書

【特許文献2】特開2005-3666号公報

【発明の開示】

【発明が解決しようとする課題】

【0003】

20

ところで、このような分光エリプソメータでは、対象物に照射される偏光光が最も収束する収束位置が対象物の測定面に位置するように対象物が昇降されてフォーカス調整が行われるが、対象物の測定面が上記収束位置と重なる上下方向の位置（以下、「フォーカス位置」という。）から僅かにずれると、偏光光の測定面上における照射領域の位置もずれてしまう。このため、分光エリプソメータでは、偏光解析を行う前にフォーカス調整を精度良く行っておく必要があり、特に、高精細なパターンが形成された半導体基板等の偏光解析を行う場合には、より高精度なフォーカス調整が必要とされる。

【0004】

しかしながら、対象物に垂直に入射する光の焦点深度は通常、対象物の測定面に斜めに入射する光の焦点深度よりも深くなるため、特許文献1のように落射式の観察光学系を用いてフォーカス調整を行うと、対象物に対して斜めから偏光光を照射する偏光解析用の測定光学系のフォーカス調整としては、要求される精度を満足できない場合がある。

30

【0005】

また、高精度なフォーカス調整を実現するためには、対象物上における偏光解析用の測定光学系による照射領域とフォーカス調整用の観察光学系による照射領域とが精度良く重なるように2つの光学系の相対位置が調整されている必要があるが、特許文献1の分光エリプソメータでは、これらの2つの光学系が互いに独立して設けられるため、光学系の温度による膨張率の差等により、両光学系の相対位置が調整時の位置からずれてしまう可能性もある。

【0006】

40

特許文献2の分光エリプソメータでは、フォーカス調整用の観察光学系の光が、偏光解析用の測定光学系と同様に、対象物に対して斜めに入射しているため、焦点深度の差によるフォーカス調整の精度低下は防止される。しかしながら、基板撮像部およびその周囲の光学系が、測定光学系から独立して設けられているため、2つの光学系の相対位置のずれを防止することは容易ではなく、フォーカス調整の精度向上に限界がある。

【0007】

本発明は、上記課題に鑑みなされたものであり、分光エリプソメータにおいて、高精度なフォーカス調整を実現することを目的としている。

【課題を解決するための手段】

【0008】

50

請求項 1 に記載の発明は、分光エリプソメータであって、測定面を有する対象物を保持する保持部と、前記対象物を前記保持部と共に前記測定面に垂直な方向に移動する昇降機構と、偏光した光を前記測定面へと傾斜しつつ入射させる照明部と、前記測定面からの前記偏光した光の反射光が入射する検光子と、前記検光子を経由した前記反射光を分光する分光デバイスと、前記分光デバイスからの分光光を受光して前記反射光の分光強度を取得する受光デバイスと、前記受光デバイスからの出力に基づいて前記反射光の波長毎の偏光状態を取得する偏光状態取得部と、前記測定面がフォーカス位置から上下にずれた際に前記反射光の前記分光デバイスへの入射を制限する入射制限部と、前記昇降機構により前記測定面を移動しつつ前記受光デバイスにより受光される光の少なくとも一部の波長帯の合計光量を求めることにより、前記測定面の昇降位置と前記合計光量との関係を取得するフォーカス情報取得部とを備える。

10

## 【 0 0 0 9 】

請求項 2 に記載の発明は、請求項 1 に記載の分光エリプソメータであって、前記測定面の昇降位置と前記合計光量との前記関係から所定の演算にて求められる位置と前記フォーカス位置との間の距離を示す補正値を予め記憶する補正値記憶部と、前記補正値を用いて前記フォーカス位置を求めるフォーカス位置決定部とをさらに備える。

## 【 0 0 1 0 】

請求項 3 に記載の発明は、請求項 1 または 2 に記載の分光エリプソメータであって、前記検光子を光軸に平行な中心軸を中心として回転する回転機構をさらに備え、前記測定面の昇降位置と前記合計光量との前記関係を求める際に、前記測定面を所定の昇降位置に位置させた状態で前記検光子が回転され、前記合計光量が最大値を示す回転位置にて前記検光子が固定される。

20

## 【 0 0 1 1 】

請求項 4 に記載の発明は、請求項 1 ないし 3 のいずれかに記載の分光エリプソメータであって、前記受光デバイスが、前記反射光の分光方向に平行に複数の受光素子が配列された受光素子アレイであり、前記測定面が前記フォーカス位置から上下にずれた際に、前記分光デバイスからの分光光が、前記受光デバイスの受光面上において前記分光方向に垂直な方向に移動する。

## 【 0 0 1 2 】

請求項 5 に記載の発明は、分光エリプソメータであって、測定面を有する対象物を保持する保持部と、前記対象物を前記保持部と共に前記測定面に垂直な方向に移動する昇降機構と、偏光した光を前記測定面へと傾斜しつつ入射させる照明部と、前記測定面からの前記偏光した光の反射光が入射する検光子と、前記検光子を経由した前記反射光を分光する分光デバイスと、前記分光デバイスからの分光光を受光して前記反射光の分光強度を取得する第 1 受光デバイスと、前記第 1 受光デバイスからの出力に基づいて前記反射光の波長毎の偏光状態を取得する偏光状態取得部と、前記分光デバイスからの 0 次回折光が導かれ、前記測定面がフォーカス位置に位置する際に前記測定面と光学的に共役な位置に位置する微小開口を有する微小開口部材と、前記微小開口部材を通過した光の強度を取得する第 2 受光デバイスとを備える。

30

## 【 0 0 1 3 】

請求項 6 に記載の発明は、請求項 5 に記載の分光エリプソメータであって、前記昇降機構により前記測定面を移動しつつ前記第 2 受光デバイスからの出力を取得することにより、前記測定面の昇降位置と前記第 2 受光デバイスの出力との関係を取得するフォーカス情報取得部をさらに備える。

40

## 【 0 0 1 4 】

請求項 7 に記載の発明は、請求項 6 に記載の分光エリプソメータであって、前記測定面の昇降位置に対する前記第 2 受光デバイスの出力の極大位置を前記フォーカス位置として取得するフォーカス位置決定部をさらに備える。

## 【 0 0 1 5 】

請求項 8 に記載の発明は、請求項 7 に記載の分光エリプソメータであって、前記測定面

50

の昇降位置に対して前記第2受光デバイスの出力に複数の極大位置が存在する場合に、前記複数の極大位置のうち前記測定面が最も下降している位置が前記フォーカス位置とされる。

【0016】

請求項9に記載の発明は、請求項6ないし8のいずれかに記載の分光エリプソメータであって、前記検光子を光軸に平行な中心軸を中心として回転する回転機構をさらに備え、前記測定面の昇降位置と前記第2受光デバイスの出力との前記関係を求める際に、前記測定面を所定の昇降位置に位置させた状態で前記検光子が回転され、前記第2受光デバイスの出力が最大値を示す回転位置にて前記検光子が固定される。

【0017】

請求項10に記載の発明は、対象物上に形成された膜の厚さを測定する膜厚測定装置であって、対象物上の測定面に偏光した光を照射する請求項1ないし9のいずれかに記載の分光エリプソメータと、前記分光エリプソメータにより取得された反射光の波長毎の偏光状態に基づいて前記測定面に存在する膜の厚さを求める膜厚演算部とを備える。

【0018】

請求項11に記載の発明は、分光エリプソメータのフォーカス調整方法であって、a) 偏光した光を対象物上の測定面へと傾斜しつつ入射させる工程と、b) 前記測定面からの前記偏光した光の反射光を分光デバイスにより分光する工程と、c) 前記分光デバイスからの分光光を受光デバイスにて受光して前記反射光の分光強度を取得し、前記反射光の少なくとも一部の波長帯の合計光量を求める工程と、d) 前記測定面がフォーカス位置から上下にずれた際に前記反射光の前記分光デバイスへの入射を制限する入射制限部が設けられた状態で、前記測定面を前記測定面に垂直な方向に移動しつつ前記a)工程ないし前記c)工程を繰り返すことにより、前記測定面の昇降位置と前記合計光量との関係を求める工程と、e) 前記測定面の昇降位置と前記合計光量との前記関係に基づいて前記フォーカス位置を求める工程と、f) 前記測定面を前記フォーカス位置へと移動する工程とを備える。

【0019】

請求項12に記載の発明は、請求項11に記載の分光エリプソメータのフォーカス調整方法であって、前記e)工程よりも前に、g) 前記偏光した光を対象物上の散乱面へと導く工程と、h) 前記散乱面における前記偏光した光の照射領域を観察する工程と、i) 前記散乱面を前記散乱面に垂直な方向に移動しつつ前記g)工程および前記h)工程を繰り返し、前記照射領域の面積が最小となる前記散乱面の昇降位置をフォーカス位置として求める工程と、j) 前記測定面に代えて前記対象物上において前記散乱面に平行な平滑面に対して前記a)ないし前記d)工程を実行することにより、前記平滑面の昇降位置と合計光量との関係を取得し、前記e)工程における前記フォーカス位置の算出に利用される情報を生成する工程とを備える。

【0020】

請求項13に記載の発明は、分光エリプソメータのフォーカス調整方法であって、a) 偏光した光を対象物上の測定面へと傾斜しつつ入射させる工程と、b) 前記測定面からの前記偏光した光の反射光を分光デバイスにより受光する工程と、c) 前記分光デバイスからの分光光を受光する第1受光デバイスとは独立して設けられた第2受光デバイスにより、前記分光デバイスからの0次回折光を、前記測定面がフォーカス位置に位置する際に前記測定面と光学的に共役な位置に位置する微小開口を介して受光する工程と、d) 前記測定面を前記測定面に垂直な方向に移動しつつ前記a)工程ないし前記c)工程を繰り返すことにより、前記測定面の昇降位置と前記第2受光デバイスの出力との関係を求める工程と、e) 前記測定面の昇降位置と前記第2受光デバイスの出力との前記関係に基づいて前記フォーカス位置を求める工程と、f) 前記測定面を前記フォーカス位置へと移動する工程とを備える。

【発明の効果】

【0021】

本発明では、分光エリプソメータにおいて、高精度なフォーカス調整を実現することができる。また、請求項１の発明では、分光エリプソメータの装置構造を簡素化することもできる。

【００２２】

請求項２、並びに、請求項６ないし８の発明では、フォーカス位置を自動的に求めることができる。また、請求項３および９の発明では、検光子の回転位置が所望の位置で固定されるため、フォーカス調整の精度を向上することができる。さらに、請求項４ないし９の発明では、フォーカス位置を容易に求めることができる。

【００２３】

請求項１０の発明では、膜厚測定装置において、高精度な膜厚測定を実現することができる。

10

【発明を実施するための最良の形態】

【００２４】

図１は、本発明の第１の実施の形態に係る膜厚測定装置１０の構成を示す図である。膜厚測定装置１０は、測定対象物である半導体基板９上に形成された薄膜の厚さを測定する装置である。以下の説明では、半導体基板９を、単に「基板９」という。図１では、膜厚測定装置１０の構成の一部を断面にて示しており、分光器４２については、その内部の構成を示している。

【００２５】

図１に示すように、膜厚測定装置１０は、基板９上の薄膜が存在する主面９１（すなわち、測定対象となる図１中の（＋Ｚ）側の主面であり、以下、「測定面９１」という。）に偏光した光を照射して測定面９１の偏光解析に用いられる情報を取得する分光エリプソメータ１、および、分光エリプソメータ１により取得された情報に基づいて偏光解析を行って測定面９１に存在する膜の厚さを求める膜厚演算部７を備える。

20

【００２６】

分光エリプソメータ１は、測定面９１を有する基板９を保持する保持部であるステージ２、ステージ２を移動するステージ移動機構２１、偏光した光（以下、「偏光光」という。）を基板９の測定面９１へと傾斜しつつ（すなわち、斜めに）入射させる照明部３、照明部３からの偏光光の反射光を受光する受光部４、基板９の測定面９１に沿う方向（すなわち、図１中におけるＸ方向およびＹ方向）の位置調整に利用される基板観察部５、並びに、各種演算処理を行うＣＰＵや各種情報を記憶するメモリ等により構成されるとともに上記構成を制御する制御部６を備える。

30

【００２７】

図２は、制御部６の構成を示す図である。図２に示すように、制御部６は、通常のコンピュータと同様に、各種演算処理を行うＣＰＵ６１、実行されるプログラムを記憶したり演算処理の作業領域となるＲＡＭ６２、基本プログラムを記憶するＲＯＭ６３、各種情報を記憶する固定ディスク６４、作業者に各種情報を表示するディスプレイ６５、および、キーボードやマウス等の入力部６６等を接続した構成となっている。

【００２８】

図３は、制御部６のＣＰＵ６１（図２参照）等がプログラムに従って演算処理を行うことにより実現される機能を示すブロック図であり、図３中のフォーカス情報取得部６１１、補正值記憶部６１２およびフォーカス位置決定部６１３が、ＣＰＵ６１等により実現される機能に相当する。なお、これらの機能は複数台のコンピュータにより実現されてもよい。制御部６では、後述する分光エリプソメータ１のフォーカス調整において利用される補正值が、補正值記憶部６１２に予め記憶されている。

40

【００２９】

図１に示すように、ステージ移動機構２１は、ステージ２を図１中のＹ方向に移動するＹ方向移動機構２２、および、ステージ２をＸ方向に移動するＸ方向移動機構２３を有する。Ｙ方向移動機構２２はモータ２２１にボールねじ（図示省略）が接続され、モータ２２１が回転することにより、Ｘ方向移動機構２３がガイドレール２２２に沿って図１中の

50

Y方向に移動する。X方向移動機構23もY方向移動機構22と同様の構成となっており、モータ231が回転するとボールねじ(図示省略)によりステージ2がガイドレール232に沿ってX方向に移動する。ステージ移動機構21は、また、基板9をステージ2と共に基板9の測定面91に垂直な上下方向(すなわち、図1中のZ方向)に移動する昇降機構24を有し、分光エリプソメータ1のフォーカス調整が行われる際には、当該昇降機構24により基板9の昇降が行われる。

#### 【0030】

照明部3は、白色光を出射する高輝度キセノン(Xe)ランプである光源31、光源31からの光を案内する各種光学素子、および、シート状(または、薄板状)の偏光素子32を備え、偏光素子32により光源31からの光から得られた偏光光が、照明部3から基板9の測定面91に傾斜しつつ(本実施の形態では、入射角70°にて斜めに)入射する。

10

#### 【0031】

受光部4は、基板9からの偏光光の反射光が入射する検光子41、検光子41を光軸J2に平行な中心軸を中心として回転する検光子回転機構411、検光子41を経由した反射光を受光するグレーティング式の分光器42、反射光を分光器42へと導く各種光学素子、および、分光器42に接続される偏光状態取得部43を備える。分光器42は、検光子41を経由した反射光を受光して波長毎の光に分光する分光デバイスであるグレーティング421、および、グレーティング421からの分光した光(以下、「分光光」という。)を受光して反射光の分光強度(すなわち、波長毎の光強度)を取得する受光デバイス422を備える。受光部4では、偏光状態取得部43により、検光子41の回転位置および受光デバイス422からの出力に基づいて反射光の波長毎の偏光状態が取得される。

20

#### 【0032】

基板観察部5は、白色光を出射する観察用光源51および基板9の位置調整用のカメラ52を備える。観察用光源51からの光は、ハーフミラー53および対物レンズ54を介して基板9の測定面91に垂直に入射し、基板9からの反射光は、対物レンズ54、ハーフミラー53およびレンズ55を介してカメラ52にて受光される。分光エリプソメータ1では、基板9の測定面91上に設けられた位置調整用の目印(いわゆる、アライメントマーク)がカメラ52により撮像される。そして、制御部6により、当該目印の画像に基づいてステージ移動機構21のX方向移動機構23およびY方向移動機構22が制御され、基板9のX方向およびY方向における位置調整が行われる。

30

#### 【0033】

次に、照明部3および受光部4の詳細について説明する。照明部3では、光源31からの光が、反射面が回転楕円体面の一部である非球面ミラー(以下、「楕円ミラー」という。)351、熱線カットフィルタ352および楕円ミラー353により、スリット板354の開口に導かれる。スリット板354では、光源31からの光の光軸J1に垂直な方向における開口の形状が、X軸に平行な辺の長さが他の辺の長さよりも長い $150\mu\text{m} \times 50\mu\text{m}$ の長方形とされ、当該開口を通過した光は、光軸J1と為す角度 $\theta_1$ が $\sin \theta_1 = 0.02$ となるように漸次広がりつつ平面ミラー355へと導かれる。

#### 【0034】

スリット板354からの光は、平面ミラー355にて反射されて楕円ミラー356へとさらに導かれ、楕円ミラー356にて反射された光は開口数(NA)0.1にて集光されつつ偏光素子32へと導かれる。そして、偏光素子32により導き出された偏光光が70度の入射角にて基板9上の照射領域に照射される。照明部3では、スリット板354から基板9に至る光学系は、5対1の縮小光学系となっているため、基板9の測定面91近傍における偏光光の光軸J1に垂直な光束断面の形状は、X軸に平行な辺の長さが $30\mu\text{m}$ であり、他の辺の長さが $10\mu\text{m}$ である長方形となる。したがって、基板9上における偏光光の照射領域はおよそ $30\mu\text{m} \times 30\mu\text{m}$ の正方形の領域となる。

40

#### 【0035】

基板9からの反射光は、受光部4のスリット板451により取り込まれて検光子41へ

50



と導かれる。スリット板 4 5 1 の開口は、X 軸に平行な辺の長さが他の辺の長さよりも十分に長い長方形とされ、X 軸に垂直な方向（ほぼ高さに相当する方向）に関して、測定面 9 1 からスリット板 4 5 1 の開口を見込む角を  $2\theta_2$  として  $\sin \theta_2$  が 0.05 とされる。これにより、スリット板 4 5 1 により取り込まれる反射光の基板 9 上の反射角の範囲が制限されてほぼ平行光とされる。一方、X 方向に関しては反射光はほとんど制限されないため、測定に必要な十分な量の光が検光子 4 1 へと導かれる。本実施の形態では、検光子 4 1 として、グラントムソンプリズムまたは偏光シートが利用される。

#### 【0036】

検光子 4 1 は、制御部 6 により制御される検光子回転機構 4 1 1（例えば、ステッピングモータ）により光軸 J 2 に平行な軸を中心として回転し、これにより、検光子回転機構 4 1 1 の回転角に応じた（すなわち、検光子 4 1 の回転位置に応じた）偏光光が検光子 4 1 から導き出される。回転する検光子 4 1 を透過した偏光光は、楕円ミラー 4 5 2 にて反射されて平面ミラー 4 5 3 へと導かれ、平面ミラー 4 5 3 にて反射されて分光器 4 2 に固定されたスリット板 4 5 4 の開口を介して分光器 4 2 へと入射する。スリット板 4 5 4 の開口は、 $100\mu\text{m} \times 100\mu\text{m}$  の正方形であり、フォーカス調整後の基板 9 の測定面 9 1 上の照射領域と光学的に共役な位置に配置される。

#### 【0037】

分光器 4 2 へと入射した反射光は、グレーティング 4 2 1 により反射されて高い波長分解能にて分光され、受光デバイス 4 2 2 により受光されて波長毎（例えば、紫外線から近赤外線までの波長毎）の光の強度が高感度に測定される。受光デバイス 4 2 2 の受光面上におけるグレーティング 4 2 1 からの光の分光方向（すなわち、波長毎の光が配列される方向）は、照明部 3 の基板 9 上における光軸 J 1 を含んで測定面 9 1 に垂直な仮想的な面に対して平行とされる。本実施の形態では、受光デバイス 4 2 2 として、受光面上における反射光の分光方向に平行に複数の受光素子が 1 列に配列された受光素子アレイが利用される。なお、受光デバイス 4 2 2 では、複数の受光素子が上記分光方向に平行に 2 列以上に配列されてもよい。

#### 【0038】

受光デバイス 4 2 2 により取得された反射光の分光強度は偏光状態取得部 4 3 へと出力され、偏光状態取得部 4 3 において、受光デバイス 4 2 2 および検光子回転機構 4 1 1 からの出力に基づいて反射光の分光強度と検光子 4 1 の回転角とが対応づけられることにより、反射光の波長毎の偏光状態を示す p 偏光成分と s 偏光成分との位相差 および反射振幅比角 が取得される。そして、これらの反射光の波長毎の偏光状態が偏光状態取得部 4 3 から膜厚演算部 7 へと出力される。膜厚演算部 7 では、分光エリプソメータ 1 の受光部 4 により取得された反射光の波長毎の偏光状態に基づいて偏光解析が行われ、基板 9 の測定面 9 1 に存在する膜の厚さが求められる。

#### 【0039】

次に、膜厚測定装置 10 において基板 9 上の膜厚測定が行われるよりも前に実施される分光エリプソメータ 1 のフォーカス調整について説明する。なお、フォーカス調整とは、基板 9 を上下に移動して照明部 3 からの光が最も収束する位置である収束位置と測定面 9 1 とを一致させる作業を指す。図 4 は、分光エリプソメータ 1 におけるフォーカス調整の流れを示す図である。フォーカス調整が行われる際には、まず、必要に応じて図 1 に示すステージ移動機構 2 1 の昇降機構 2 4 が駆動され、基板 9 の測定面 9 1 が上下方向における所定の検光子調整位置（好ましくは、照明部 3 から基板 9 に向けて照射される偏光光が最も収束する収束位置と測定面 9 1 とが重なる（測定面 9 1 の）フォーカス位置近傍と推定される位置）に位置する。続いて、測定面 9 1 を検光子調整位置に位置させた状態で、基板 9 に対して照明部 3 から光が照射されるとともに検光子回転機構 4 1 1 により検光子 4 1 が回転され、基板 9 からの反射光が、回転する検光子 4 1 を透過して分光器 4 2 により受光される。

#### 【0040】

分光器 4 2 では、受光デバイス 4 2 2 により反射光の分光強度が取得されて制御部 6 の

フォーカス情報取得部 6 1 1 (図 3 参照) に出力され、フォーカス情報取得部 6 1 1 において、反射光の所定の波長帯 (本実施の形態では、受光デバイス 4 2 2 により受光される反射光の全波長成分を含む波長帯) の波長毎の光強度の合計である合計光量が求められる (ステップ S 1 1)。合計光量は、検光子 4 1 の回転位置に応じて増減し、受光部 4 では、フォーカス情報取得部 6 1 1 により求められる合計光量が最大値を示す回転位置にて検光子 4 1 が固定される (ステップ S 1 2)。

#### 【 0 0 4 1 】

次に、昇降機構 2 4 により、基板 9 がステージ 2 と共に図 1 中の ( - Z ) 側へと移動して移動開始位置に位置し、移動開始位置から ( + Z ) 方向へと移動を開始する (ステップ S 1 3)。続いて、受光部 4 の検光子 4 1 が固定された状態で (すなわち、検光子 4 1 の回転が停止された状態で)、照明部 3 からの偏光光が基板 9 の測定面 9 1 へと傾斜しつつ入射し、測定面 9 1 からの偏光光の反射光が、スリット板 4 5 4 を介して分光器 4 2 へと入射してグレーティング 4 2 1 により分光される。そして、グレーティング 4 2 1 からの分光光が、受光デバイス 4 2 2 により受光されて反射光の分光強度が取得され、受光デバイス 4 2 2 からの出力に基づいてフォーカス情報取得部 6 1 1 により反射光の所定の波長帯の合計光量が求められる (ステップ S 1 4)。

#### 【 0 0 4 2 】

分光エリプソメータ 1 では、基板 9 が所定の停止位置に到達するまで (ステップ S 1 5)、基板 9 の ( + Z ) 方向への移動、照明部 3 による偏光光の照射、および、分光器 4 2 による反射光の受光を行いつつ、フォーカス情報取得部 6 1 1 による反射光の合計光量の算出が繰り返される (ステップ S 1 4, S 1 5)。そして、基板 9 の上方への移動 (すなわち、( + Z ) 方向への移動) が停止位置にて停止され (ステップ S 1 6)、制御部 6 のフォーカス情報取得部 6 1 1 において、基板 9 の測定面 9 1 の上下方向の位置 (以下、「昇降位置」という。) とフォーカス情報取得部 6 1 1 により求められた反射光の合計光量とが関連付けられて測定面 9 1 の昇降位置と反射光の合計光量との関係が取得される (ステップ S 1 7)。

#### 【 0 0 4 3 】

図 1 に示す分光エリプソメータ 1 では、基板 9 が上下に (すなわち、Z 方向に) 移動することにより、受光部 4 のスリット板 4 5 4 に入射する測定面 9 1 からの反射光も上下に移動し、基板 9 の測定面 9 1 がフォーカス位置からある程度の距離だけ上下にずれた際には、測定面 9 1 からの反射光の分光器 4 2 への入射が、スリット板 4 5 4 により、一部または全て遮られる。すなわち、スリット板 4 5 4 は、測定面 9 1 がフォーカス位置から上下にずれた際に測定面 9 1 からの反射光のグレーティング 4 2 1 への入射を制限する入射制限部となっている。

#### 【 0 0 4 4 】

図 5 は、基板 9 の測定面 9 1 の昇降位置と反射光の合計光量との関係を示す図である。図 5 に示すように、反射光の合計光量は、スリット板 4 5 4 に導かれる光全体がスリット板 4 5 4 の開口を介してグレーティング 4 2 1 へと入射する昇降位置の範囲に基板 9 の測定面 9 1 が位置している際に最大値を示す。

#### 【 0 0 4 5 】

基板 9 の測定面 9 1 の昇降位置と反射光の合計光量との関係が求められると、フォーカス情報取得部 6 1 1 により、合計光量が最大値を示す測定面 9 1 の昇降位置の範囲が求められ、当該範囲の中心である中心位置 P 1 が求められる。分光エリプソメータ 1 では、上述のように、スリット板 4 5 4 の開口がフォーカス調整後の基板 9 の測定面 9 1 上の照射領域と光学的に共役な位置に配置されており、また、測定面 9 1 がフォーカス位置に位置した状態において、反射光がスリット板 4 5 4 の開口中心を通るように設計されているため、理論的には、図 5 中の中心位置 P 1 に基板 9 の測定面 9 1 が位置した状態において、照明部 3 からの基板 9 への入射光の収束位置が基板 9 の測定面 9 1 上に位置するが、実際には、分光エリプソメータ 1 の各構成の公差等により、測定面 9 1 が入射光の収束位置に位置する際の測定面 9 1 の昇降位置 (すなわち、フォーカス位置) が、図 5 中の中心位置

10

20

30

40

50

P 1 から僅かにずれてしまう場合がある。

【 0 0 4 6 】

そこで、分光エリプソメータ 1 では、中心位置 P 1 とフォーカス位置との間の上下方向（すなわち、Z 方向）の距離を示す補正值が、図 3 に示す制御部 6 の補正值記憶部 6 1 2 に予め記憶されており、フォーカス位置決定部 6 1 3 により、当該補正值を用いて中心位置 P 1 が補正されることにより、測定面 9 1 のフォーカス位置 P 2 が、図 5 に示すように、合計光量が最大値を示す測定面 9 1 の昇降位置の範囲内において自動的に求められる（ステップ S 1 8）。補正值記憶部 6 1 2 に記憶されている補正值の算出方法については後述する。

【 0 0 4 7 】

このように、基板 9 の測定面 9 1 の昇降位置と反射光の合計光量との関係に基づいてフォーカス位置が求められると、制御部 6 により図 1 に示す昇降機構 2 4 が制御され、基板 9 がステージ 2 と共に上下方向に移動して基板 9 の測定面 9 1 がフォーカス位置に位置することにより、分光エリプソメータ 1 のフォーカス調整が終了する（ステップ S 1 9）。

【 0 0 4 8 】

次に、上記ステップ S 1 8 にて用いられた補正值の算出方法について説明する。図 6 は、補正值の算出の流れを示す図である。当該補正值は、膜厚測定装置 1 0 にて膜厚測定が行われる最初の基板 9 のフォーカス調整の際に 1 回のみ求められ、あるいは、膜厚測定よりも前にテスト用基板を用いて 1 回のみ求められて補正值記憶部 6 1 2（図 3 参照）に格納される。そして、以降の基板に対するフォーカス調整時には、補正值記憶部 6 1 2 から当該補正值が読み出されて利用される。以下では、テスト用基板を用いて補正值が求められるものとして説明する。

【 0 0 4 9 】

補正值が求められる際には、まず、テスト用基板の測定面上に照明部 3 からの偏光光を散乱させる散乱部材（例えば、アルミニウム箔）が配置される。以下の説明では、偏光光が入射する散乱部材の表面を「散乱面」といい、散乱面はテスト用基板の測定面と平行となっている。

【 0 0 5 0 】

続いて、図 1 に示す昇降機構 2 4 により、テスト用基板の移動開始位置からの（+ Z）方向（すなわち、散乱面に垂直な方向）への移動が開始され（ステップ S 2 1）、照明部 3 からの偏光光が傾斜しつつテスト用基板上の散乱面へと導かれ、散乱面において偏光光が散乱して得られた散乱光が、Z 方向に配列された基板観察部 5 の対物レンズ 5 4、ハーフミラー 5 3 およびレンズ 5 5 を介してカメラ 5 2 にて受光される。換言すれば、テスト用基板上の散乱面における偏光光の照射領域が基板観察部 5 により観察される。そして、カメラ 5 2 にて取得された画像から、テスト用基板の散乱面上における偏光光の照射領域の面積が求められる（ステップ S 2 2）。

【 0 0 5 1 】

分光エリプソメータ 1 では、テスト用基板が所定の停止位置に位置するまで（ステップ S 2 3）、テスト用基板の（+ Z）方向への移動、照明部 3 による散乱面への偏光光の照射、および、カメラ 5 2 による散乱面上の照射領域の観察を行いつつ、照射領域の面積の算出が繰り返される（ステップ S 2 2、S 2 3）。そして、テスト用基板の上下方向の移動が停止位置にて停止され（ステップ S 2 4）、テスト用基板の散乱面の昇降位置とテスト用基板上における照射領域の面積との関係に基づいて、照射領域の面積が最小となる散乱面の昇降位置がフォーカス位置として求められる（ステップ S 2 5）。

【 0 0 5 2 】

次に、テスト用基板上の散乱部材以外の測定面上の一の領域（以下、散乱面と区別するために「平滑面」という。）に対して、図 4 に示すステップ S 1 1 ~ S 1 7 と同様の工程が行われ（換言すれば、基板 9 の測定面 9 1 に代えてテスト用基板の平滑面に対してステップ S 1 1 ~ S 1 7 が実行され）、テスト用基板の平滑面と昇降位置と反射光の合計光量との関係が取得される（ステップ S 2 6）。平滑面は測定面の一部であるため、上述のよ

10

20

30

40

50

うに、散乱面と平行であり、散乱部材の厚さ分だけ散乱面よりも（ - Z ）側に位置する。

【 0 0 5 3 】

その後、テスト用基板の平滑面の昇降位置と反射光の合計光量との関係において、合計光量が最大値を示す平滑面の昇降位置の範囲の中心位置が求められ、当該中心位置とステップ S 2 5 にて求められたフォーカス位置との間の上下方向の距離（具体的には、平滑面が上記中心位置に位置する際の昇降機構 2 4 のエンコーダの指示値と、散乱面がフォーカス位置に位置する際の当該エンコーダの指示値との差を、散乱部材の厚さ分だけ補正した距離）が、上述の補正值として求められて（すなわち、ステップ S 1 8 において基板 9 の測定面 9 1 のフォーカス位置算出に利用される情報が生成されて）制御部 6 の補正值記憶部 6 1 2 に記憶される（ステップ S 2 7 ）。当該補正值は、テスト用基板や膜厚測定の対象となる基板 9 の厚さにかかわらず一定とされる。

10

【 0 0 5 4 】

なお、補正值の算出では、例えば、ステップ S 2 1 ~ S 2 5 に代えて、使用者が昇降機構 2 4 を手動にて操作することにより散乱面の昇降位置を変更しつつ、カメラ 5 2 により取得された散乱面上の照射領域の画像を観察し、照射領域の面積が最小であると使用者が判断した位置がフォーカス位置とされてもよい。この場合、散乱面の上下方向の移動は、フォーカス位置と予想される昇降位置近傍のみで行われてよい。

【 0 0 5 5 】

以上に説明したように、膜厚測定装置 1 0 の分光エリプソメータ 1 では、照明部 3 から基板 9 の測定面 9 1 へと傾斜しつつ入射した光の反射光を利用してフォーカス調整を行うことにより、基板に対して垂直に光を照射する落射式光学系を利用してフォーカス調整を行う場合に比べて、照明部 3 の光学系の焦点深度を小さくしてフォーカス調整の精度を向上することができる。

20

【 0 0 5 6 】

ところで、通常の分光エリプソメータでは、基板の偏光解析用に利用される光学系とフォーカス調整に利用される光学系とが、少なくとも一部が互いに独立して設けられており、両光学系の照射領域が位置精度良く重なるように両光学系の相対位置が調整されている。しかしながら、このような分光エリプソメータでは、光学系の温度による膨張率の差等により、両光学系の相対位置が調整時の位置からずれてしまう恐れがある。

【 0 0 5 7 】

30

これに対し、本実施の形態に係る分光エリプソメータ 1 のフォーカス調整では、基板 9 の測定面 9 1 の偏光解析に利用される構成（すなわち、照明部 3 の光源 3 1、楕円ミラー 3 5 1、熱線カットフィルタ 3 5 2、楕円ミラー 3 5 3、スリット板 3 5 4、平面ミラー 3 5 5、楕円ミラー 3 5 6 および偏光素子 3 2、並びに、受光部 4 のスリット板 4 5 1、検光子 4 1、楕円ミラー 4 5 2、平面ミラー 4 5 3、スリット板 4 5 4 およびグレーティング 4 2 1）のみにより受光デバイス 4 2 2 へと光が導かれ、受光デバイス 4 2 2 からの出力に基づいて測定面 9 1 がフォーカス位置へと移動される。

【 0 0 5 8 】

このように、分光エリプソメータ 1 では、偏光解析に利用される光学系とフォーカス調整に利用される光学系とを共通とすることにより、温度変化等による光学系の変化の影響を排除してより高精度なフォーカス調整を実現することができる。その結果、膜厚測定装置 1 0 において、照明部 3 からの偏光光を測定面 9 1 上に位置精度良く照射することができる。さらに、測定面 9 1 からの反射光の単位面積当たりの光強度を大きくすることができるため、高精度な膜厚測定が実現される。

40

【 0 0 5 9 】

また、分光エリプソメータ 1 では、測定面 9 1 の昇降位置と反射光の合計光量との関係を求める際に、所定の昇降位置における合計光量が最大となる回転位置にて検光子 4 1 が固定されることにより、測定面 9 1 の昇降位置と反射光の合計光量との関係を高精度に取得することができるため、フォーカス調整の精度をより向上することができる。

【 0 0 6 0 】

50

分光エリプソメータ１では、測定面９１の昇降位置と反射光の合計光量との関係において合計光量が最大値を示す昇降位置の範囲の中心位置Ｐ１と、補正值記憶部６１２に予め記憶されている補正值とを用いてフォーカス位置が自動的に求められる。これにより、分光エリプソメータ１の各構成の公差等によるフォーカス位置と上記中心位置Ｐ１とのずれを補正し、フォーカス調整の精度をさらに向上することができる。また、補正值の取得においては、上述のようにテスト用基板の散乱面における照射領域を基板観察部５により観察してフォーカス位置を求めることにより、補正值の取得を容易とすることができる。

#### 【００６１】

次に、本発明の第２の実施の形態に係る膜厚測定装置の分光エリプソメータについて説明する。図７は、第２の実施の形態に係る分光エリプソメータ１ａの構成を示す図である。図７に示すように、分光エリプソメータ１ａでは、図１に示す分光エリプソメータ１の分光器４２とは構造が異なる分光器４２ａが受光部４に設けられる。分光エリプソメータ１ａのその他の構成は、図１に示す分光エリプソメータ１と同様であり、対応する構成には以下の説明において同符号を付す。なお、図７では、分光エリプソメータ１ａの構成の一部を断面にて示しており、また、制御部６の図示を省略している（後述する図１０においても同様）。

#### 【００６２】

図７に示す分光器４２ａは、第１の実施の形態と同様に、分光デバイスであるグレーティング４２１、および、グレーティング４２１からの分光光を受光して反射光の分光強度を取得する受光デバイス４２２を備え、さらに、グレーティング４２１からの０次回折光（すなわち、正反射光）が導かれるピンホール板４２３、および、ピンホール板４２３の微小開口を通過した光を受光して光の強度を取得するもう１つの受光デバイス４２４を備える。以下の説明では、受光デバイス４２２、および、受光デバイス４２４とは独立して設けられたもう１つの受光デバイス４２４を互いに区別するため、それぞれ「第１受光デバイス４２２」とおよび「第２受光デバイス４２４」という。

#### 【００６３】

分光エリプソメータ１ａでは、第２受光デバイス４２４としてフォトダイオードが利用され、第１受光デバイス４２２として、第１の実施の形態と同様に、受光面上における分光方向に沿って複数の受光素子が１列に配列された受光素子アレイが利用される。ピンホール板４２３の微小開口は、グレーティング４２１によりピンホール板４２３に投影されたスリット板４５４の開口の像の高さ方向（すなわち、開口の上下方向に対応する方向）に関して当該像よりも小さく、スリット板４５４の開口と光学的に共役な位置に位置する。したがって、基板９の測定面９１がフォーカス位置に位置した状態では、ピンホール板４２３の微小開口は、基板９の測定面９１と光学的に共役な位置に位置することとなる。

#### 【００６４】

第２の実施の形態に係る膜厚測定装置において基板９上に形成された膜の厚さが測定される際には、第１の実施の形態と同様に、ステージ２上に保持された基板９の測定面９１に、照明部３からの偏光光が傾斜しつつ入射し、測定面９１からの反射光が回転する検光子４１およびスリット板４５４を経由して分光器４２ａへと入射する。測定面９１からの反射光は、分光器４２ａのグレーティング４２１により分光され、受光素子アレイである第１受光デバイス４２２により分光光が受光されて反射光の分光強度が取得される。そして、偏光状態取得部４３により第１受光デバイス４２２からの出力に基づいて反射光の波長毎の偏光状態が取得され、膜厚演算部７（図１参照）により反射光の波長毎の偏光状態に基づいて偏光解析が行われて基板９の測定面９１に存在する膜の厚さが求められる。

#### 【００６５】

次に、分光エリプソメータ１ａのフォーカス調整について説明する。図８は、分光エリプソメータ１ａにおけるフォーカス調整の流れを示す図である。フォーカス調整が行われる際には、まず、第１の実施の形態と同様に、基板９の測定面９１が検光子調整位置に位置した状態にて、基板９に対して照明部３から光が照射されるとともに検光子４１が回転され、基板９からの反射光が分光器４２ａにより受光される。分光器４２ａでは、第２受

光デバイス 4 2 4 によりグレーティング 4 2 1 からの 0 次回折光の光強度（すなわち、光量）が取得され（ステップ S 3 1）、受光部 4 において、第 2 受光デバイス 4 2 4 からの出力であるグレーティング 4 2 1 からの 0 次回折光の光強度が最大値を示す回転位置にて検光子 4 1 が固定される（ステップ S 3 2）。

【 0 0 6 6 】

続いて、昇降機構 2 4 により基板 9 が移動開始位置から（+ Z）方向へと移動を開始し（ステップ S 3 3）、照明部 3 から基板 9 の測定面 9 1 へと傾斜しつつ入射した偏光光の反射光が、スリット板 4 5 4 を介してグレーティング 4 2 1 へと入射し、グレーティング 4 2 1 からの 0 次回折光が、ピンホール板 4 2 3 を介して第 2 受光デバイス 4 2 4 により受光されて光強度が取得される（ステップ S 3 4）。そして、第 2 受光デバイス 4 2 4 から制御部 6 のフォーカス情報取得部 6 1 1（図 3 参照）へと当該光強度が出力される。

10

【 0 0 6 7 】

分光エリプソメータ 1 a では、基板 9 が所定の停止位置に位置するまで（ステップ S 3 5）、基板 9 の（+ Z）方向への移動、照明部 3 による偏光光の照射、および、分光器 4 2 a による反射光の受光を行いつつ、第 2 受光デバイス 4 2 4 による 0 次回折光の光強度の取得が繰り返される（ステップ S 3 4、S 3 5）。そして、基板 9 の上方への移動が停止位置にて停止され（ステップ S 3 6）、制御部 6 のフォーカス情報取得部 6 1 1 において、基板 9 の測定面 9 1 の昇降位置と第 2 受光デバイス 4 2 4 の出力（すなわち、グレーティング 4 2 1 からの 0 次回折光の光強度）との関係が自動的に取得される（ステップ S 3 7）。

20

【 0 0 6 8 】

図 7 に示す分光エリプソメータ 1 a では、基板 9 が上下に（すなわち、Z 方向に）移動することにより、分光器 4 2 a に入射する測定面 9 1 からの反射光も上下に移動し、基板 9 の測定面 9 1 がフォーカス位置から上下にずれた際には、測定面 9 1 からの反射光の第 2 受光デバイス 4 2 4 への入射が、ピンホール板 4 2 3 により一部または全て遮られる。すなわち、ピンホール板 4 2 3 は、測定面 9 1 がフォーカス位置から上下にずれた際に測定面 9 1 からの反射光の第 2 受光デバイス 4 2 4 への入射を制限する入射制限部となっている。

【 0 0 6 9 】

図 9 . A は、基板 9 の測定面 9 1 の昇降位置と第 2 受光デバイス 4 2 4 から出力されるグレーティング 4 2 1 からの 0 次回折光の光強度との関係を示す図である。図 9 . A に示すように、第 2 受光デバイス 4 2 4 からの出力は、ピンホール板 4 2 3 に導かれる光全体がピンホール板 4 2 3 の微小開口から第 2 受光デバイス 4 2 4 へと入射する（あるいは、ピンホール板 4 2 3 の微小開口全体が、ピンホール板 4 2 3 に入射する光の照射量域に含まれる）昇降位置に基板 9 の測定面 9 1 が位置している際に最大値を示す。

30

【 0 0 7 0 】

図 7 に示す分光エリプソメータ 1 a では、制御部 6 のフォーカス位置決定部 6 1 3（図 3 参照）により、測定面 9 1 の昇降位置に対する第 2 受光デバイス 4 2 4 の出力が明瞭に極大となる位置（すなわち、近傍の昇降位置に比べて第 2 受光デバイス 4 2 4 の出力が大きくなる測定面 9 1 の昇降位置）である極大位置 P 3（図 9 . A 参照）が、フォーカス位置として自動的に取得される（ステップ S 3 8）。そして、制御部 6 により昇降機構 2 4 が制御され、基板 9 がステージ 2 と共に上下方向に移動して基板 9 の測定面 9 1 がフォーカス位置に位置することにより、分光エリプソメータ 1 a のフォーカス調整が終了する（ステップ S 3 9）。

40

【 0 0 7 1 】

以上に説明したように、分光エリプソメータ 1 a では、第 1 の実施の形態と同様に、基板 9 の測定面 9 1 へと傾斜しつつ入射した光の反射光を利用してフォーカス調整を行うことにより、落射式光学系を利用してフォーカス調整を行う場合に比べてフォーカス調整の精度を向上することができる。また、第 1 の実施の形態と同様に、偏光解析に利用される光学系とフォーカス調整に利用される光学系とを共通とすることにより、温度変化等によ

50

る光学系の変化の影響を排除してより高精度なフォーカス調整を実現することができる。その結果、分光エリプソメータ 1 a を備える第 2 の実施の形態に係る膜厚測定装置において、高精度な膜厚測定が実現される。

【 0 0 7 2 】

分光エリプソメータ 1 a では、測定面 9 1 の昇降位置と第 2 受光デバイス 4 2 4 の出力との関係を求める際に、第 2 受光デバイス 4 2 4 の出力が最大となる回転位置にて検光子 4 1 が固定されることにより、測定面 9 1 の昇降位置と第 2 受光デバイス 4 2 4 の出力との関係を高精度に取得することができるため、フォーカス調整の精度をより向上することができる。

【 0 0 7 3 】

分光エリプソメータ 1 a では、特に、ピンホール板 4 2 3 の微小開口が、グレーティング 4 2 1 によりピンホール板 4 2 3 に投影されたスリット板 4 5 4 の開口の像の高さ方向（すなわち、開口の上下方向に対応する方向）に関して当該像よりも小さくされ、グレーティング 4 2 1 からの 0 次回折光がピンホール板 4 2 3 の微小開口を介して第 2 受光デバイス 4 2 4 に入射する。このため、第 2 受光デバイス 4 2 4 の出力が最大値となる測定面 9 1 の昇降位置の範囲（すなわち、フォーカス位置を含む昇降位置の範囲）が、第 1 の実施の形態に比べて小さくなり、本実施の形態では、フォーカス位置において第 2 受光デバイス 4 2 4 の出力が明瞭に極大となる。このため、第 1 の実施の形態に比べて、測定面 9 1 の昇降位置と第 2 受光デバイス 4 2 4 の出力との関係からフォーカス位置をより容易に求めることができる。

【 0 0 7 4 】

一方、第 1 の実施の形態に係る分光エリプソメータ 1 では、基板 9 の測定面 9 1 の偏光解析に利用される受光デバイス 4 2 2 を用いてフォーカス調整が行われるため、偏光解析用の第 1 受光デバイス 4 2 2 とフォーカス調整用の第 2 受光デバイス 4 2 4 とを有する分光エリプソメータ 1 a に比べて、分光器および分光エリプソメータの構造を簡素化することができる。

【 0 0 7 5 】

ところで、第 2 の実施の形態に係る分光エリプソメータ 1 a のフォーカス調整では、図 8 のステップ S 3 7 にて取得された基板 9 の測定面 9 1 の昇降位置と第 2 受光デバイス 4 2 4 の出力との関係において、図 9 . B に示すように、基板 9 の測定面 9 1 の昇降位置に対して第 2 受光デバイス 4 2 4 の出力に複数の極大位置が存在する場合がある。図 9 . B に示す上記関係では、左側の極大位置 P 3 における第 2 受光デバイス 4 2 4 からの出力は、測定面 9 1 に存在する薄膜の上面にて反射された偏光光が第 2 受光デバイス 4 2 4 に入射することにより得られたものであり、右側の極大位置 P 4 における第 2 受光デバイス 4 2 4 からの出力は、測定面 9 1 の薄膜と基板本体との境界面（すなわち、基板本体の上面）にて反射された偏光光が第 2 受光デバイス 4 2 4 に入射することにより得られたものである。この場合、分光エリプソメータ 1 a では、制御部 6 のフォーカス情報取得部 6 1 1（図 3 参照）により、複数の極大位置 P 3 , P 4 のうち測定面 9 1 が最も下降している（すなわち、最も（ - Z ）側に位置する）位置がフォーカス位置として自動的に取得される。

【 0 0 7 6 】

次に、本発明の第 3 の実施の形態に係る膜厚測定装置の分光エリプソメータについて説明する。図 1 0 は、第 3 の実施の形態に係る分光エリプソメータ 1 b の構成を示す図であり、図 1 1 は、分光エリプソメータ 1 b の分光器 4 2 の内部を示す平面図である。分光エリプソメータ 1 b は、図 1 に示す分光エリプソメータ 1 と同様の構成を備え、対応する構成には以下の説明において同符号を付す。

【 0 0 7 7 】

図 1 0 および図 1 1 に示すように、分光エリプソメータ 1 b では、受光部 4 に設けられた分光器 4 2 の向きのみが第 1 の実施の形態と異なる。分光エリプソメータ 1 b の分光器 4 2 は、図 1 中の分光器 4 2 を、受光部 4 の光軸 J 2 を中心として 9 0 ° 回転させた向き

10

20

30

40

50

にて配置される。したがって、図 10 および図 11 に示す分光エリプソメータ 1 b の分光器 42 では、受光デバイス 422 の複数の受光素子 4221 が、測定面 91 からの反射光の受光面上における分光方向に沿って 1 列に配列される。なお、図 10 および図 11 では、図示の都合上、受光素子 4221 を実際よりも大きく、実際の個数よりも少なく描いている。

【0078】

図 10 に示す分光エリプソメータ 1 b では、第 1 の実施の形態と同様に、基板 9 が上下に（すなわち、Z 方向に）移動することにより、受光部 4 のスリット板 454 に入射する測定面 91 からの反射光も上下に移動し、基板 9 の測定面 91 がフォーカス位置からある程度の距離だけ上下にずれた際には、測定面 91 からの反射光の分光器 42 への入射が、スリット板 454 により、一部または全て遮られる。

10

【0079】

分光エリプソメータ 1 b では、特に、スリット板 454 の開口を介して分光器 42 に光が入射する範囲において基板 9 がフォーカス位置から上下にずれた場合に、グレーティング 421 に入射する光が上下に移動し、グレーティング 421 から受光デバイス 422 へと向かう分光光も、受光面上における分光方向（すなわち、受光デバイス 422 の複数の受光素子 4221 の配列方向）に対して略垂直な方向に上下に移動して複数の受光素子 4221 からずれた位置へと導かれる。

【0080】

したがって、分光エリプソメータ 1 b において、第 1 の実施の形態と同様の方法により取得される基板 9 の測定面 91 の昇降位置と測定面 91 からの反射光の所定の波長帯における合計光量との関係は、図 12 に示すように、合計光量が最大値を示す昇降位置の範囲が狭いものとなり、本実施の形態では、合計光量が明瞭に極大となる測定面 91 の昇降位置（すなわち、極大位置 P3）が存在する。

20

【0081】

分光エリプソメータ 1 b では、測定面 91 の昇降位置と反射光の合計光量との関係において、合計光量が最大値を示す測定面 91 の昇降位置の範囲が狭いため、当該昇降位置の範囲に含まれる測定面 91 のフォーカス位置をより容易に求めることができる。特に、本実施の形態のように、合計光量が明瞭に極大となる測定面 91 の昇降位置が存在する場合には、当該昇降位置がフォーカス位置として取得されることにより、フォーカス位置をさらに容易に求めることができる。

30

【0082】

以上、本発明の実施の形態について説明してきたが、本発明は上記実施の形態に限定されるものではなく、様々な変更が可能である。

【0083】

上記実施の形態に係る分光エリプソメータの分光器では、分光デバイスの 1 つであるグレーティング 421 が利用されているが、例えば、他の分光デバイス（例えば、分光プリズム）により、測定面 91 からの反射光の分光が行われてもよい。

【0084】

第 1 の実施の形態に係る分光エリプソメータ 1 では、測定面 91 のフォーカス位置の調整において、反射光の合計光量の最大値を示す基板 9 の測定面 91 の昇降位置の範囲の中心位置 P1 を基準位置として、予め求められている補正值を用いてフォーカス位置が決定されているが、基準位置は必ずしも上記中心位置 P1 には限定されず、測定面 91 の昇降位置と反射光の合計光量との関係から中心位置 P1 以外の位置が所定の演算により基準位置として求められてもよい。この場合、分光エリプソメータ 1 では、当該基準位置とフォーカス位置との間の距離を示す補正值が予め求められて補正值記憶部 612 に記憶される。

40

【0085】

また、フォーカス位置の調整において、基板 9 の測定面 91 の昇降位置と反射光の合計光量との関係が求められる際に、必ずしも、受光デバイス 422 により受光された反射光

50



の全波長成分の光強度の合計が合計光量とされる必要はなく、当該反射光の全波長成分のうち、少なくとも一部の波長帯の光強度の合計が合計光量とされてもよい。

【 0 0 8 6 】

フォーカス位置の決定に利用される補正值の算出は、テスト用基板に代えて、膜厚測定の対象となる 1 枚目の基板を利用して行われてもよい。この場合、当該基板の測定面上に存在する光散乱性を有する部位が散乱面として利用され、当該基板の測定面の一部が平滑面として利用される。また、補正值の算出は、測定面の一部が平滑面であるとともに他の一部が平滑面と同じ高さに位置する散乱面とされたテスト用基板を利用して行われてもよい。

【 0 0 8 7 】

10

第 2 の実施の形態に係る分光エリプソメータ 1 a では、基板 9 の測定面 9 1 の昇降位置と第 2 受光デバイス 4 2 4 からの出力との関係は、必ずしも自動的に取得される必要はなく、使用者が昇降機構 2 4 を手動にて操作することにより測定面 9 1 の昇降位置を変更しつつ第 2 受光デバイス 4 2 4 からの出力の変化を観察し、第 2 受光デバイス 4 2 4 の出力が極大であると使用者が判断した位置がフォーカス位置とされてもよい。この場合、測定面 9 1 の上下方向の移動は、フォーカス位置と予想される昇降位置近傍のみで行われてよい。

【 0 0 8 8 】

上記実施の形態に係る分光エリプソメータでは、基板 9 の偏光解析が行われる際に、必ずしも、受光部 4 において検光子 4 1 が回転される必要はなく、例えば、受光部 4 において検光子 4 1 が固定され、固定された検光子 4 1 の基板 9 側に回転する位相子が設けられてもよい。また、受光部 4 において検光子 4 1 が固定されるとともに照明部 3 において偏光素子 3 2 が回転されてもよい。

20

【 0 0 8 9 】

上記実施の形態に係る膜厚測定装置では、基板 9 上に存在する単層膜または多層膜の膜厚が測定されるが、分光エリプソメータは、膜厚測定装置以外の他の装置に利用されてもよく、分光器にて取得された分光強度に基づいて基板 9 の測定面 9 1 の膜厚以外の表面状態や光学定数が求められてもよい。さらには、分光エリプソメータにより、半導体基板以外の対象物の測定面の偏光解析が行われてもよい。

【図面の簡単な説明】

30

【 0 0 9 0 】

【図 1】第 1 の実施の形態に係る膜厚測定装置の構成を示す図である。

【図 2】制御部の構成を示す図である。

【図 3】制御部の機能を示すブロック図である。

【図 4】フォーカス調整の流れを示す図である。

【図 5】基板の測定面の昇降位置と反射光の合計光量との関係を示す図である。

【図 6】補正值の算出の流れを示す図である。

【図 7】第 2 の実施の形態に係る分光エリプソメータの構成を示す図である。

【図 8】フォーカス調整の流れを示す図である。

【図 9 . A】基板の測定面の昇降位置と第 2 受光デバイスの出力との関係を示す図である。

40

【図 9 . B】基板の測定面の昇降位置と第 2 受光デバイスの出力との関係を示す図である。

【図 10】第 3 の実施の形態に係る分光エリプソメータの構成を示す図である。

【図 11】分光器の内部を示す平面図である。

【図 12】基板の測定面の昇降位置と反射光の合計光量との関係を示す図である。

【符号の説明】

【 0 0 9 1 】

1 , 1 a , 1 b      分光エリプソメータ

2      ステージ

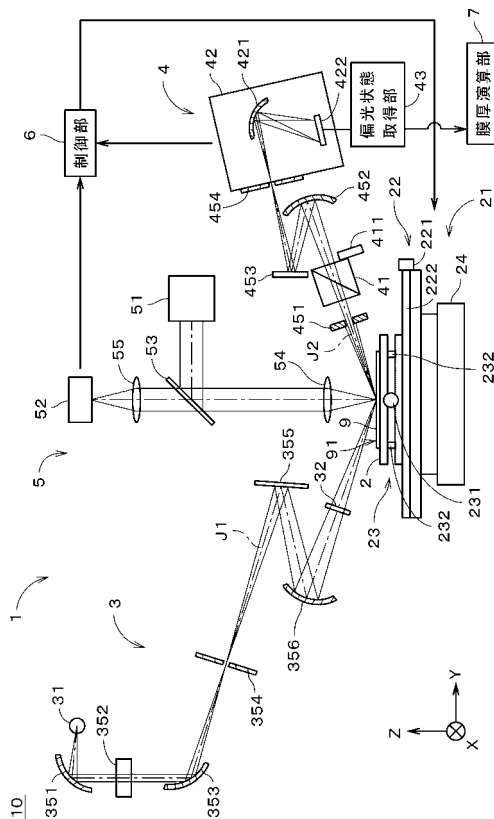
50

- 3 照明部  
 7 膜厚演算部  
 9 基板  
 10 膜厚測定装置  
 24 昇降機構  
 41 検光子  
 43 偏光状態取得部  
 91 測定面  
 411 検光子回転機構  
 421 グレーティング  
 422 (第1)受光デバイス  
 423 ピンホール板  
 424 第2受光デバイス  
 454 スリット板  
 611 フォーカス情報取得部  
 612 補正值記憶部  
 613 フォーカス位置決定部  
 J1, J2 光軸  
 P1 中心位置  
 P2 フォーカス位置  
 P3, P4 極大位置  
 S11 ~ S19, S21 ~ S27, S31 ~ S39 ステップ

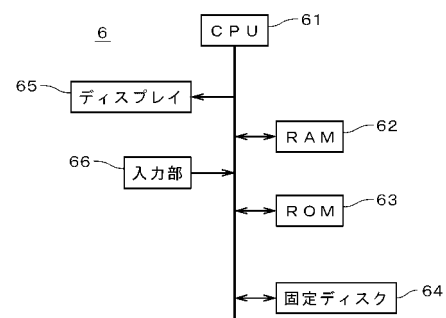
10

20

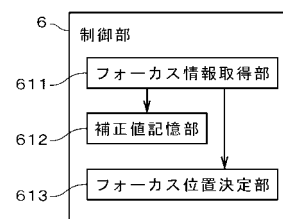
【図1】



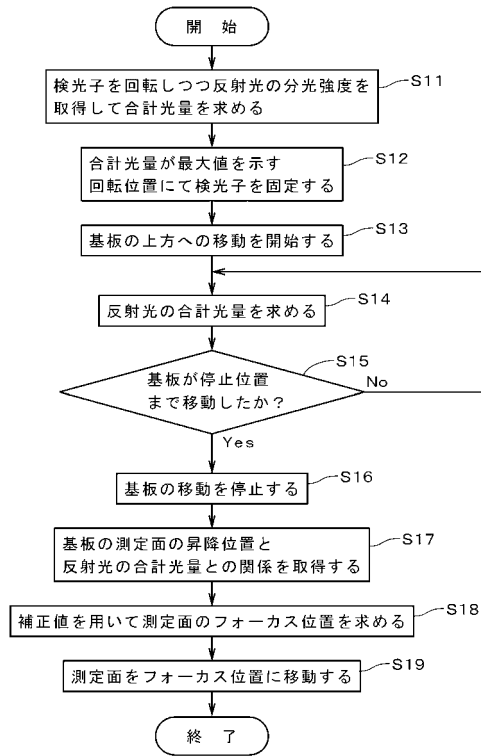
【図2】



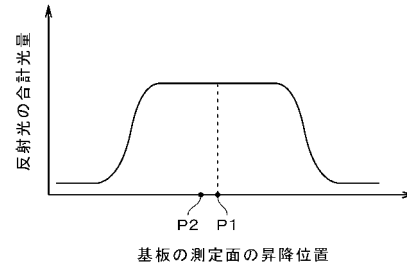
【図3】



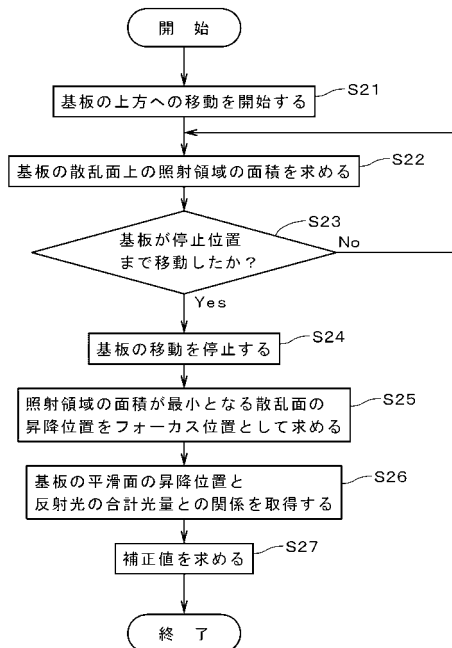
【図 4】



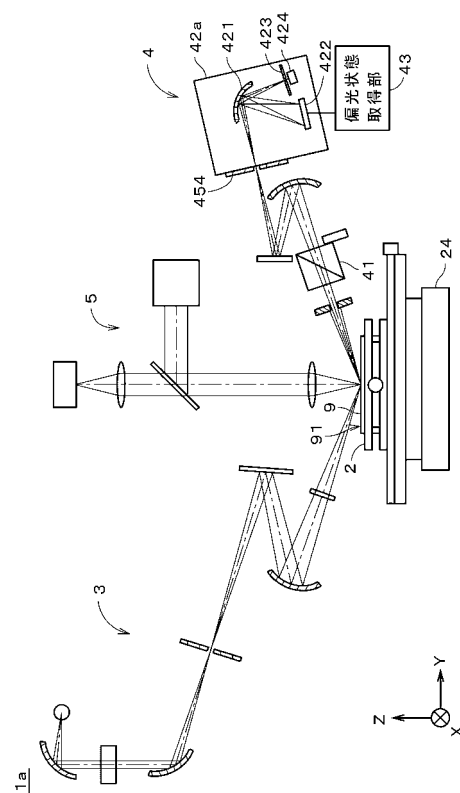
【図 5】



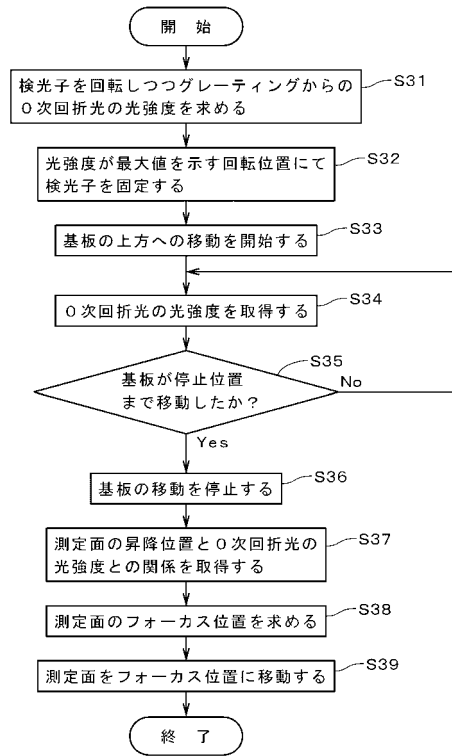
【図 6】



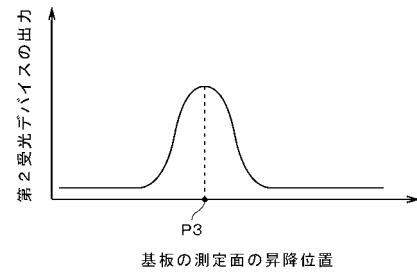
【図 7】



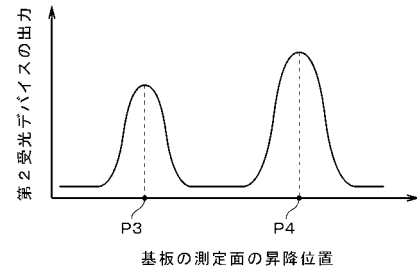
【図 8】



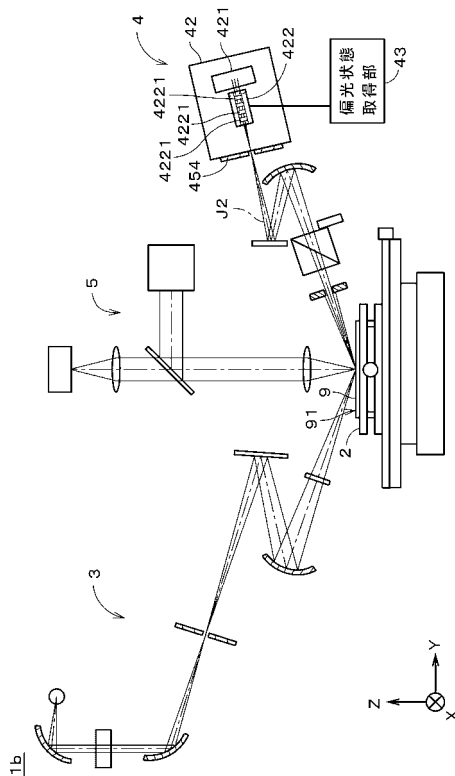
【図 9 . A】



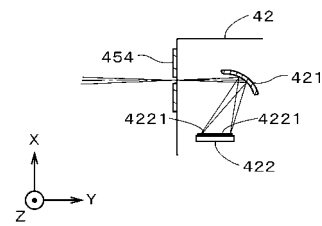
【図 9 . B】



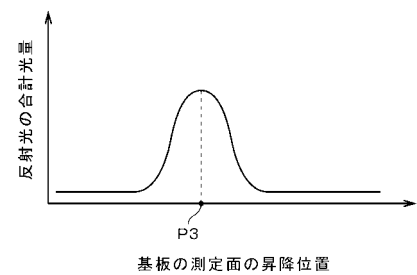
【図 10】



【図 11】



【図 12】



---

フロントページの続き

審査官 田嶋 亮介

- (56)参考文献 特開2005-003666(JP,A)  
特表2002-506198(JP,A)  
特表2001-519892(JP,A)  
特開平06-137948(JP,A)  
特開平09-325277(JP,A)  
特開平06-288835(JP,A)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

G01N 21/00 - 21/01  
G01N 21/17 - 21/61  
G01J 3/00 - 4/04  
G01J 7/00 - 9/04  
JSTPlus/JMEDPlus/JST7580(JDreamII)