

(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2011-106974

(P2011-106974A)

(43) 公開日 平成23年6月2日(2011.6.2)

(51) Int.Cl.		F I			テーマコード (参考)
<b>GO 1 N 21/956</b>	<b>(2006.01)</b>	GO 1 N	21/956	A	2 G O 5 1
<b>HO 1 L 21/66</b>	<b>(2006.01)</b>	HO 1 L	21/66	J	4 M 1 0 6

審査請求 未請求 請求項の数 28 O L (全 41 頁)

(21) 出願番号	特願2009-262445 (P2009-262445)	(71) 出願人	501387839 株式会社日立ハイテクノロジーズ 東京都港区西新橋一丁目24番14号
(22) 出願日	平成21年11月18日 (2009.11.18)	(74) 代理人	100100310 弁理士 井上 学
		(74) 代理人	100098660 弁理士 戸田 裕二
		(72) 発明者	大谷 祐子 神奈川県横浜市戸塚区吉田町292番地 株式会社日立製作所生産技術研究所内
		(72) 発明者	立▲崎▼ 武弘 神奈川県横浜市戸塚区吉田町292番地 株式会社日立製作所生産技術研究所内

最終頁に続く

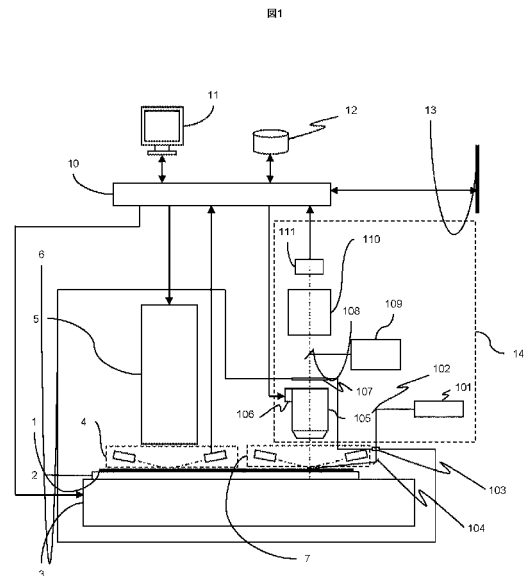
(54) 【発明の名称】 欠陥検出方法及び欠陥検出装置並びにこれを備えた欠陥観察装置

(57) 【要約】

【課題】 光学式欠陥検査装置または光学式外観検査装置で検出した欠陥を電子顕微鏡等で詳細に観察する装置において、観察対象の欠陥を確実に電子顕微鏡等の視野内に入れることができ、かつ装置規模を小さくできる装置を提供する。

【解決手段】 光学式欠陥検査装置または光学式外観検査装置で検出した欠陥を観察する電子顕微鏡5において、欠陥を再検出する光学顕微鏡14を搭載し、この光学顕微鏡14で暗視野観察する際に瞳面に分布偏光素子及び空間フィルタを挿入する構成とする。光学式欠陥検査装置または光学式外観検査装置で検出した欠陥を観察する電子顕微鏡5において、欠陥を再検出する光学顕微鏡14を搭載し、この光学顕微鏡14で暗視野観察する際に瞳面に分布フィルタを挿入する構成とする。

【選択図】 図1



## 【特許請求の範囲】

## 【請求項 1】

被検査物の表面に対して斜方よりレーザを照射する照明光学系と、  
前記照射されたレーザによる前記被検査物からの散乱光を対物レンズで集光し、固体撮像素子に結像する検出光学系と、  
を有する欠陥検出装置であって、  
前記検出光学系は、前記散乱光のうち前記被検査物表面の凹凸による散乱光と前記被検査物表面の異物又は欠陥による散乱光の偏光方向を制御し、透過する偏光方向を選択する分布フィルタを有することを特徴とする欠陥検出装置。

## 【請求項 2】

請求項 1 記載の欠陥検出装置であって、  
前記分布フィルタは、波長板、空間フィルタ、偏光子のいずれか若しくはこれらの組み合わせによって構成されるものであることを特徴とする欠陥検査装置。

## 【請求項 3】

請求項 1 記載の欠陥検出装置であって、  
前記分布フィルタは、前記被検査物表面の凹凸による散乱光の偏光方向と前記被検査物表面の異物又は欠陥による散乱光の偏光方向を制御する分布を有する波長板であることを特徴とする欠陥検出装置。

## 【請求項 4】

請求項 1 記載の欠陥検出装置であって、  
前記分布フィルタは、前記被検査物表面の凹凸による散乱光に対する前記被検査物表面の異物又は欠陥による散乱光の比率が高くなるように偏光方向を揃える波長板と直線偏光子との組み合わせよりなることを特徴とする欠陥検出装置。

## 【請求項 5】

請求項 1 記載の欠陥検出装置であって、  
前記分布フィルタは、前記被検査物表面の凹凸による散乱光に対する前記被検査物表面の異物又は欠陥による散乱光の比率が高くなるように偏光方向を揃える波長板と分布偏光子との組み合わせよりなることを特徴とする欠陥検出装置。

## 【請求項 6】

請求項 1 記載の欠陥検出装置であって、  
前記分布フィルタは、1 / 2 波長板、1 / 4 波長板、1 / 2 波長板と 1 / 4 波長板の組み合わせ、液晶、磁気光学変調子、フォトニック結晶、1 / 4 波長板と液晶の組み合わせ、1 / 4 波長板と磁気光学変調子の組み合わせ、のいずれかで構成される波長板であることを特徴とする欠陥検出装置。

## 【請求項 7】

請求項 1 記載の欠陥検出装置であって、  
前記分布フィルタは、直線偏光素子と磁気光学変調子の組み合わせ、直線偏光素子と波長板の組み合わせ、偏光素子と磁気光学変調子の組み合わせ、偏光素子と波長板の組み合わせ、のいずれかによって構成される散乱光遮光部を有する空間フィルタであることを特徴とする欠陥検出装置。

## 【請求項 8】

請求項 1 記載の欠陥検出装置であって、  
前記分布フィルタは、前記被検査物表面の凹凸による散乱光に対する前記被検査物表面の異物又は欠陥による散乱光の比率が高い偏光を選択的に透過させる偏光透過軸を有する偏光子であることを特徴とする欠陥検出装置。

## 【請求項 9】

請求項 1 記載の欠陥検出装置であって、  
前記分布フィルタは、前記被検査物表面の凹凸による散乱光に対する前記被検査物表面の異物又は欠陥による散乱光の比率が高くなるように散乱光の位相を変える位相シフタであることを特徴とする欠陥検出装置。

10

20

30

40

50

## 【請求項 10】

請求項 1 乃至 9 のいずれかに記載の欠陥検出装置であって、  
前記分布フィルタの少なくとも一つは、前記検出光学系の瞳面又はその近傍、若しくは、  
前記対物レンズと前記被検査物との間に配置されることを特徴とする欠陥検出装置。

## 【請求項 11】

請求項 1 乃至 9 のいずれかに記載の欠陥検出装置であって、  
前記分布フィルタの少なくとも一つは、交換可能な機構を有することを特徴とする欠陥検出装置。

## 【請求項 12】

請求項 1 乃至 9 のいずれかに記載の欠陥検出装置であって、  
前記対物レンズは、前記分布フィルタの少なくとも一つが埋め込んであることを特徴とする欠陥検出装置。

10

## 【請求項 13】

請求項 1 乃至 9 のいずれかに記載の欠陥検出装置であって、  
前記検出光学系の瞳面に液晶または磁気光学変調子を挿入し、偏光透過軸方向分布を変更可能な制御機構を有することを特徴とする欠陥検出装置。

## 【請求項 14】

請求項 1 乃至 9 のいずれかに記載の欠陥検出装置であって、  
前記被検査物が鏡面である場合は P 偏光された光を前記被検査物に対して 10° 程度の仰角で入射させることを特徴とする欠陥検出装置。

20

## 【請求項 15】

請求項 1 乃至 14 のいずれかに記載の欠陥検出装置であって、  
前記照明光学系に用いるレーザは、可視光レーザ、紫外光レーザ、真空紫外光レーザのいずれかを用いることを特徴とする欠陥検出装置。

## 【請求項 16】

請求項 1 乃至 15 のいずれかに記載の欠陥検出装置であって、  
さらに、前記対物レンズの焦点合わせに必要な高さ情報を得るための光学式高さセンサを有することを特徴とする欠陥検出装置。

## 【請求項 17】

被検査物の表面に対して斜方よりレーザを照射する照明光学系と、前記照射されたレーザによる前記被検査物からの散乱光を対物レンズで集光し、固体撮像素子に結像する検出光学系と、を有する欠陥検出装置と、  
前記欠陥検出装置によって得られた前記被検査物表面の欠陥又は異物の位置情報に基づいて位置合わせを行い、前記欠陥又は異物を観察する電子顕微鏡と、  
を備えた欠陥観察装置であって、  
前記欠陥検出装置の前記検出光学系は、前記散乱光のうち前記被検査物表面の凹凸による散乱光と前記被検査物表面の異物又は欠陥による散乱光の偏光方向を制御し、透過する偏光方向を選択する分布フィルタを有することを特徴とする欠陥観察装置。

30

## 【請求項 18】

請求項 17 記載の欠陥観察装置であって、  
前記分布フィルタは、前記散乱光のうち前記被検査物表面の凹凸からの散乱光を除去し、前記散乱光のうち前記被検査物表面の異物または欠陥からの散乱光を選択的に透過させる構成の分布偏光素子または空間フィルタまたは偏光素子であること特徴とする欠陥観察装置。

40

## 【請求項 19】

請求項 17 記載の欠陥観察装置であって、  
前記分布フィルタは、波長板、波長板と偏光素子の組み合わせ、波長板と偏光素子と空間フィルタとの組み合わせ、のいずれかであることを特徴とする欠陥観察装置。

## 【請求項 20】

請求項 17 記載の欠陥観察装置であって、

50

前記分布フィルタは、分布波長板、分布波長板と偏光素子の組み合わせ、分布波長板と偏光素子と空間フィルタの組み合わせ、のいずれかであることを特徴とする欠陥観察装置。

【請求項 2 1】

被検査物の表面を照明する照明光により前記被検査物表面から生じる散乱光の信号を検出系の第 1 のセンサで取得し、前記第 1 のセンサが取得した信号に基づき前記被検査物上の異物や欠陥を検出する暗視野欠陥検査方法であって、前記照明光の強度分布と偏光状態分布のいずれか又は双方を計測する照明光モニタリングステップと、前記検出系に入力された光を第 2 のセンサにより検出することで検出レンズの結像特性及び前記被検査物を載置するステージ動作状態を検出する検出系モニタリングステップと、前記照明光モニタリングステップと前記検出系モニタリングステップの検出結果と理想値とを比較し、それぞれの前記検出結果と前記理想値との差分が許容値以下となるよう前記照明光と前記検出系のいずれか又は双方を調整するフィードバック制御ステップと、を含むことを特徴とする暗視野欠陥検査方法。

10

【請求項 2 2】

請求項 2 1 に記載の暗視野欠陥検査方法において、前記照明光モニタリングステップは正反射光を利用して前記照明光の強度分布と偏光状態分布のいずれか又は双方を計測することを特徴とする暗視野欠陥検査方法。

【請求項 2 3】

請求項 2 1 に記載の暗視野欠陥検査方法において、前記照明光モニタリングステップは前記被検査物の検査面となるステージ上で前記照明光の強度分布と偏光状態分布のいずれか又は双方を計測することを特徴とする暗視野欠陥検査方法。

20

【請求項 2 4】

請求項 2 1 に記載の暗視野欠陥検査方法において、前記照明光はレーザを光源とした照明系によって生成され、前記照明光モニタリングステップにて前記照明光生成過程の光線の計測結果から検査面上での前記照明光の強度分布と偏光状態分布のいずれか又は双方を推定することを特徴とする暗視野欠陥検査方法。

【請求項 2 5】

請求項 2 1 に記載の暗視野欠陥検査方法において、前記検出系モニタリングステップは前記被検査物の検査面となるステージ上に置かれた特性が既知の反射型光学素子にスポット光を斜方照明し得られた前記散乱光を前記第 2 のセンサにより検出することを特徴とする暗視野欠陥検査方法。

30

【請求項 2 6】

請求項 2 1 に記載の暗視野欠陥検査方法において、前記検出系モニタリングステップは前記被検査物の検査面となるステージ上に置かれた点光源と特性が既知の透過型光学素子を用いることで得られる所定の光を前記第 2 のセンサにより検出することを特徴とする暗視野欠陥検査方法。

【請求項 2 7】

請求項 2 1 に記載の暗視野欠陥検査方法において、前記照明光モニタリングステップ及び前記検出系モニタリングステップの検出結果の経時変化を記録し、統計処理により装置の異常を判断する装置異常確認ステップを更に含むことを特徴とする暗視野欠陥検査方法。

40

【請求項 2 8】

請求項 2 1 に記載の暗視野欠陥検査方法において、更に、前記照明光モニタリングステップ及び前記検出系モニタリングステップの検出結果と前記理想値を同時に表示する検出結果出力ステップと、を含むことを特徴とする暗視野欠陥検査方法。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0 0 0 1】

50

半導体パターン無しベアウェハ、若しくは半導体パターン無し膜付ウェハ等の表面、またはディスクの表面の欠陥等を検査する欠陥検出方法・欠陥検出装置及びこれを備えた欠陥観察装置に関する。

【背景技術】

【0002】

例えば、半導体デバイスの製造工程では、半導体基板（ウェハ）上に異物又はショートや断線などのパターン欠陥（以下、欠陥と記述するが異物やパターン欠陥を含むものとする）が存在すると、配線の絶縁不良や短絡などの不良原因になる。また、ウェハ上に形成する回路パターンの微細化に伴い、より微細な欠陥がキャパシタの絶縁不良やゲート酸化膜などの破壊原因にもなる。これらの欠陥は、搬送装置の可動部から発生するものや、人体から発生するもの、プロセスガスによる処理装置の内部で反応生成されたもの、薬品や材料に混入していたものなど、種々の原因により種々の状態で混入される。このため、製造工程中で発生した欠陥を検出し、欠陥の発生源をいち早く突き止め、不良の作り込みを食い止めることが半導体デバイスを量産する上で重要になる。

10

【0003】

従来、欠陥の発生原因を追究する方法には、まず、欠陥検査装置で欠陥位置を特定し、SEM（Scanning Electron Microscope：走査型電子顕微鏡）等で該欠陥を詳細に観察及び分類し、データベースと比較して欠陥の発生原因を推定する方法があった。

【0004】

ここで、欠陥検査装置とは、半導体基板の表面をレーザで照明し、欠陥からの散乱光を暗視野観察して欠陥の位置を特定する光学式欠陥検査装置や、ランプ又はレーザ、または電子線を照射して、半導体基板の明視野光学像を検出して、これを参照情報と比較することにより半導体基板上の欠陥位置を特定する光学式外観検査装置やSEM式検査装置である。このような観察方法に関しては、特許文献1又は2に開示されている。

20

【0005】

また、SEMで欠陥を詳細に観察する装置に関しては、特許文献3、特許文献4及び特許文献5にそれぞれ、他の検査装置で検出した試料上の欠陥の位置情報を用いてSEM式の欠陥検査装置に装着された光学顕微鏡で試料上の位置を検出して他の検査装置で検出して得た欠陥の位置情報を修正した上でSEM式の欠陥観察装置で欠陥を詳細に観察（レビュー）する方法およびその装置、並びにSEM式の欠陥観察装置で欠陥を観察するときに、試料表面の高さを光学的に検出して試料表面をSEMの焦点位置に合わせる事が記載されている。

30

【先行技術文献】

【特許文献】

【0006】

【特許文献1】特開平7-270144号公報

【特許文献2】特開2000-352697号公報

【特許文献3】米国特許第6407373号公報

【特許文献4】特開2007-71803号公報

【特許文献5】特開2007-235023号公報

40

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0007】

光学式の欠陥検査装置を用いて半導体基板表面の欠陥を検出する場合、検査のスループットを上げるために、半導体基板表面を暗視野照明するためのレーザビームのスポットサイズを大きくして半導体基板表面を走査して照射している。このため、半導体基板表面を走査するレーザビームスポットの位置から求める位置座標の精度は、大きな誤差成分を含んでしまう。

【0008】

このような大きな誤差成分を含んだ欠陥の位置情報に基づいてSEMを用いて欠陥を詳

50

細に観察しようとする、光学式の欠陥検査装置よりも遥かに高い倍率で観察するSEMの視野の中に、観察したい欠陥が入らない場合がある。このような場合、SEMの視野内に見たい欠陥の画像を入れるために、SEMの視野内を移動させながら欠陥を探すことになるが、そのための時間がかかってしまい、SEM観察のスループットが低下する原因になってしまう。

【0009】

そこで、本発明の目的の一つは、光学式の欠陥検査装置又は光学式外観検査装置で検出した欠陥をSEMを用いて詳細に観察する場合において、光学式の欠陥検査装置又は光学式外観検査装置で検出した微細欠陥を高感度で検出し、確実にSEMの観察視野内に入れることができ、かつ、装置規模を小さくできる欠陥観察装置を提供することにある。

10

【0010】

また、近年のLSI製造においては、高集積化のニーズに対応した回路パターンの微細化により、ウェハ上に形成される配線パターンの幅は縮小している。一方、配線の導電率を確保するために、配線パターンの高さは高くなっている。

【0011】

これに対応して、光学式欠陥検査装置も検出すべき欠陥の寸法も微細化が求められている。このような中、光学式欠陥検査装置では、検査用対物レンズの高NA(Numerical Aperture:開口数)化や光学的な超解像技術の開発が進められているが、検査用対物レンズの高NA化は物理的限界に達しているため、検査に用いる光の波長をUV光やDUV(Deep UV:深紫外)光の領域へ短波長化していくのが本質的なアプローチである。

20

【0012】

しかし、LSIデバイスには主に高密度の繰返しパターンで形成されるメモリ製品や、主に非繰返しパターンで形成されるロジック製品などがあり、検査対象となるパターンの構造が複雑かつ多様化している。このため、LSIデバイス製造時に管理が必要な欠陥(ターゲット欠陥)を確実に見つけ出すことが困難となっている。検出が望まれているターゲット欠陥としては、各製造プロセス中に発生する異物やエッチング後の回路パターンの形状不良に加え、CMP工程ではボイドやスクラッチがある。さらに、ゲート配線やアルミニウム等の金属配線部では配線パターン間のショート(ブリッジとも言う)がある。特に、配線パターン間のショートは、配線パターンに比べて高さが低いものが多く、検出が困難であるという課題がある。

30

【0013】

また、多層配線のLSIデバイスにおいては、前記のターゲット欠陥の微細化に加え、欠陥が発生している場所の下地パターンも多様化しているため、さらに検出が困難となっている。特に、絶縁膜等の透明膜(ここでは、照明波長に対して透明という意味)が最表面に露出している工程では、透明膜の微小な膜厚差による干渉光の強度ムラが光学ノイズとなる。そのため、干渉光の強度ムラの影響を低減しつつ、ターゲット欠陥を顕在化するという課題がある。また、LSIを安定に製造するためには、LSIデバイスの不良状況を正確に管理する必要があり、そのためにはLSI基板を全数検査することが望ましい。従って、前記ターゲット欠陥を短時間で検出するという課題がある。

【0014】

そこで、本発明の他の目的は、ウェハ上の多様な欠陥を高速、高感度に検出する欠陥検出装置および方法、並びにこれを搭載した欠陥観察装置を提供することにある。

40

【課題を解決するための手段】

【0015】

上記いずれかの目的を達成するために、本願において開示される発明のうち代表的なものの概要を観点に説明すれば次の通りである。

(1)被検査物の表面に対して斜方よりレーザを照射する照明光学系と、前記照射されたレーザによる前記被検査物からの散乱光を対物レンズで集光し、固体撮像素子に結像する検出光学系と、を有する欠陥検出装置であって、前記検出光学系は、前記散乱光のうち前記被検査物表面の凹凸による散乱光と前記被検査物表面の異物又は欠陥による散乱光の偏

50

光方向を制御し、透過する偏光方向を選択する分布フィルタを有することを特徴とする欠陥検出装置である。

(2) 被検査物の表面に対して斜方よりレーザを照射する照明光学系と、前記照射されたレーザによる前記被検査物からの散乱光を対物レンズで集光し、固体撮像素子に結像する検出光学系と、を有する欠陥検出装置と、前記欠陥検出装置によって得られた前記被検査物表面の欠陥又は異物の位置情報に基づいて位置合わせを行い、前記欠陥又は異物を観察する電子顕微鏡と、を備えた欠陥観察装置であって、前記欠陥検出装置の前記検出光学系は、前記散乱光のうち前記被検査物表面の凹凸による散乱光と前記被検査物表面の異物又は欠陥による散乱光の偏光方向を制御し、透過する偏光方向を選択する分布フィルタを有することを特徴とする欠陥観察装置である。

10

(3) 被検査物の表面を照明する照明光により前記被検査物表面から生じる散乱光の信号を検出系の第1のセンサで取得し、前記第1のセンサが取得した信号に基づき前記被検査物上の異物や欠陥を検出する暗視野欠陥検査方法であって、前記照明光の強度分布と偏光状態分布のいずれか又は双方を計測する照明光モニタリングステップと、前記検出系に入力された光を第2のセンサにより検出することで検出レンズの結像特性及び前記被検査物を載置するステージ動作状態を検出する検出系モニタリングステップと、前記照明光モニタリングステップと前記検出系モニタリングステップの検出結果と理想値とを比較し、それぞれの前記検出結果と前記理想値との差分が許容値以下となるよう前記照明光と前記検出系のいずれか又は双方を調整するフィードバック制御ステップと、を含むことを特徴とする暗視野欠陥検査方法である。

20

【発明の効果】

【0016】

本発明によれば光学式欠陥検出装置で検出した欠陥をSEM等で詳細に観察する場合において、観察対象の欠陥を確実にSEM等の観察視野内に入れることができるようになり、SEM等を用いた欠陥の詳細検査のスループットをあげることができる。また、装置を安価かつ小規模で構成することができる。

または、基板上の多様な欠陥を高速、高感度に検出することが可能となる。

【図面の簡単な説明】

【0017】

【図1】本発明の第1の実施形態における欠陥観察装置の構成の一例を示す図である。

30

【図2】本発明の第1の実施形態において、暗視野照明ユニットの詳細を示す図である。

【図3】本発明の第1の実施形態において、光学式高さ検出装置の詳細を示す図である。

【図4】本発明の第1の実施形態において、光学顕微鏡の詳細を示す図である。

【図5】本発明の第1の実施形態において、分布偏光素子を切り替える機構の詳細を示す図である。

【図6】本発明の第1の実施形態において、分布偏光素子を切り替える機構の別の例を詳細に示す図である。

【図7】本発明の第1の実施形態において、光学顕微鏡瞳面112に挿入される分布偏光素子の透過軸の分布方向の例を示した図である。

【図8】本発明の第1の実施形態において、光学顕微鏡瞳面112に挿入される空間フィルタの形状の例を示す図である。

40

【図9】本発明の第1の実施形態において、分布偏光素子および空間フィルタの光学特性を決定する為に行った散乱光シミュレーションの説明をする図である。

【図10】本発明の第1の実施形態において、分布偏光素子および空間フィルタの光学特性を決定する為に行った散乱光シミュレーション結果の例を示す図である。

【図11】本発明の第1の実施形態において、光学顕微鏡瞳面112に挿入される分布偏光素子の透過軸の分布方向の例を示した図である。

【図12】本発明の第1の実施形態において、光学顕微鏡瞳面112に挿入される、分布偏光素子と空間フィルタを一基板上に形成した例を示す図である。

【図13】本発明の第1の実施形態において、光学顕微鏡の暗視野観察で取得された欠陥

50

の位置ずれ量算出画像を示す図である。

【図 1 4】本発明の第 1 の実施形態において、欠陥観察の手順を示す図である。

【図 1 5】本発明の第 3 及び第 4 の実施形態において、Z 位置算出の手順を示す図である。

【図 1 6】本発明の第 1 の実施形態において、光学顕微鏡の第二の構成例の詳細を示す図である。

【図 1 7】本発明の第 1 の実施形態において、光学顕微鏡の第三の構成例の詳細を示す図である。

【図 1 8】本発明の第 2 の実施形態における、欠陥観察装置の構成の一例を示す図である。

【図 1 9】本発明の第 3 の実施形態における、欠陥観察装置の構成の一例を示す図である。

【図 2 0】本発明の第 4 の実施形態における、欠陥観察装置の構成の一例を示す図である。

【図 2 1】散乱光シミュレーションを用いた基板表面からの散乱光強度の偏光毎の強度分布及び異物からの散乱光強度の偏光毎の強度分布の例を示す図である。

【図 2 2】本発明の第一の実施形態における光学顕微鏡の瞳面 1 1 2 付近に位相シフトを適用した一例を示す図である。

【図 2 3】瞳面 1 1 2 付近に位相シフトを適用した場合のラジアル偏光の変化を説明する図である。

【図 2 4】瞳面 1 1 2 の分割の一例及び 8 分割し、その領域毎に異物散乱光と基板表面散乱光の比を散乱光シミュレーションより求め、異物散乱光と基板表面散乱光の比が大きい偏光方向を選択した分布偏光子の一例を示す図である。

【図 2 5】本発明の第一の実施形態における光学顕微鏡の瞳面 1 1 2 付近に波長板を適用した一例を示す図である。

【図 2 6】瞳面 1 1 2 付近に波長板を適用した場合の偏光の変化を説明する図である。

【図 2 7】本発明の第一の実施形態における光学顕微鏡の瞳面 1 1 2 付近に液晶を用いた偏光方向制御装置を配置した例を示す図である。

【図 2 8】偏光方向制御装置による偏光方向の変化を説明する図である。

【図 2 9】液晶を用いた偏光方向制御装置について説明する一例を示す図である。

【図 3 0】電圧を印加しない際旋光性をもち電圧印加によって旋光性が失われる偏光方向制御装置の一例を示す図である。

【図 3 1】配向膜のラビングによって偏光方向を制御することのできる液晶を用いた偏光方向制御装置の一例を示す図である。

【図 3 2】本発明の第一の実施形態における光学顕微鏡の瞳面 1 1 2 付近に透明磁性体を用いた偏光方向制御装置を配置した例を示す図である。

【図 3 3】透明磁性体を用いた偏光方向制御装置の一例を示す図である。

【図 3 4】散乱光シミュレーションから異物散乱光と基板表面散乱光の比を導出し、その比がある閾値より大きい領域の光を透過し、異物散乱光と基板表面散乱光の比がある閾値より小さい領域を遮光した偏光子とマスクの組み合わせによる分布フィルタの例を示す図である。

【図 3 5】瞳面 1 1 2 を分割しその領域毎に異物散乱光と基板表面散乱光の比を散乱光シミュレーションより求め、異物散乱光と基板表面散乱光の比が大きい偏光方向を選択し、更にその比がある閾値より大きい領域の光を透過し、異物散乱光と基板分布偏光子の一例を示す。

【図 3 6】本発明の第 5 の実施形態における、欠陥観察装置の欠陥検出装置の構成例を示す図である。

【図 3 7】パターン起因の散乱光を除外する目的で瞳面 1 1 2 付近に配置する空間フィルタの例を示す図である。

【図 3 8】本発明の第 5 の実施形態にかかる制御部の内部構成を示すブロック図である。

10

20

30

40

50

【図39】本発明の第5の実施形態にかかる欠陥観察装置におけるモニタリング処理手順を表すフローチャートである。

【発明を実施するための形態】

【0018】

以下、本発明の実施の形態について適宜図面を用いて詳細に説明する。

【0019】

図1に、本発明の実施の形態における欠陥観察装置の構成の一例を示す。本実施形態の欠陥観察装置は、半導体デバイス等の基板（ウェハ）上に回路パターンを形成するデバイス製造工程において、製造工程中に発生する欠陥を観察する装置であって、被検査対象のウェハ1、この試料を搭載する試料ホルダ2、この試料ホルダ2を移動させて試料1の全面を顕微鏡の下に移動可能なステージ3、被検査ウェハ1を詳細観察する電子顕微鏡（以下SEMと記述）5、電子顕微鏡5の焦点を試料1の表面に合わせる為の光学式高さ検出システム（以下Zセンサと記述）4、試料1の欠陥を光学的に再検出して試料1上の欠陥の詳細位置情報を取得する光学顕微鏡14、光学顕微鏡14の焦点を合わせる為のZセンサ7、電子顕微鏡5と光学顕微鏡14の対物レンズ105を収納する真空槽6、電子顕微鏡5およびZセンサ4およびZセンサ7および高さ制御機構106および固体撮像素子111を制御する制御部10、ユーザーインターフェース11、データベース12、光学式欠陥検査装置等の上位システムへ接続するネットワーク13で構成されている。

10

【0020】

さらに、光学顕微鏡14は、暗視野照明ユニット101、暗視野照明ユニット101より出射されたレーザを真空槽へ導きかつ試料1表面上での照明位置を制御する落射ミラー102、真空封し窓103、ミラー104、試料1よりの散乱光を採光するまたは明視野観察をする為の対物レンズ105、対物レンズの高さ制御機構106、真空封し窓107、明視野観察に必要な照明を導入するハーフミラー108、明視野光源109、試料1の像を固体撮像素子へ結像させる結像光学系110、固体撮像素子111、分布偏光素子および空間フィルタ切り替え機構401（図5参照）を備えて構成されている。また、ステージ3、Zセンサ4および7、SEM5、ユーザーインターフェース11、データベース12、高さ制御機構106、固体撮像素子111は制御システム10と接続され、制御システム10はネットワーク13を介して上位のシステム（図示せず）と接続されている。

20

【0021】

以上のように構成される欠陥観察装置において、特に、光学顕微鏡14は光学式欠陥検査装置（図示せず）で検出された試料1上の欠陥の位置を光学式欠陥検査装置で検出した欠陥の位置情報を用いて再検出（以下検出と記述）する機能を有し、高さ制御機構106とZセンサ7は試料焦点合わせを行う焦点合わせ手段としての機能を有し、制御システム10は顕微鏡14で検出された欠陥の位置情報に基づいて欠陥の位置情報を補正する位置補正手段としての機能を有し、SEM5は制御システム10で位置情報を補正された欠陥を観察する機能を有する構成となっている。ステージ3は、被検査ウェハ1を載置して、光学顕微鏡14で検出した欠陥がSEM5で観察できるように、光学顕微鏡14とSEM5との間を移動する。

30

【0022】

対物レンズ105及び高さ制御機構106は真空槽6内に設置されている。高さ制御機構106の構成としては、例えばピエゾ素子を用いて移動させる構成、又は、ステップモータとボールネジを用いてリニアガイドに沿ってZ方向（結像光学系110の光軸115に沿った方向）へ移動させる構成、又は、超音波モータとボールネジを用いてリニアガイドに沿ってZ方向へ移動させる構成などを用いることが出来る。

40

【0023】

落射ミラー102は、図1に示すように照明光源101より射出された光を真空槽6に導く為用いる。なお、落射ミラー102は、試料1表面上の照明位置を制御する為に、図示したミラーの長手方向に沿った軸周りと図面に垂直な軸周りの二軸で回転する機構を有してもよい。

50

## 【 0 0 2 4 】

以下、各部の詳細を図 2 ~ 図 2 0 を用いて説明する。

図 2 は、暗視野照明ユニット 1 0 1 の詳細を示す。暗視野照明ユニット 1 0 1 は、例えば可視光レーザや紫外光レーザや真空紫外光レーザを出射する照明光源 5 0 1、照明光の強度を調整する光学フィルタ 5 0 2、照明光の偏光方向を調整する波長板 5 0 3、照明光を試料 1 に絞るレンズ群 5 0 7 で構成されている。レンズ群 5 0 7 は、平凹レンズ 5 0 4、アクロマートレンズ 5 0 5、シリンドリカルレンズ 5 0 6 で構成されている。レンズ焦点距離の選択とレンズ間隔の調整により、試料 1 表面における照明領域を光学顕微鏡 1 4 の視野全域から回折限界まで制御可能な機構であり、シリンドリカルレンズにより斜方照明であるが円形の照射領域が実現可能である。

10

## 【 0 0 2 5 】

照明光源 5 0 1 は、レーザ発振器である。レーザ発振器は例えば 4 0 5 n m や 4 8 8 n m、5 3 2 n m の可視光 ( 4 0 0 n m - 8 0 0 n m )、または 4 0 0 n m 以下の紫外光、または 2 0 0 n m 以下の真空紫外光を発振するものであり、連続発振レーザやパルス発振レーザのどちらでも使用可能である。これらの選択方法としては、連続発振レーザを用いると安価で安定し、小型の装置が実現可能である。照明光源 5 0 1 の波長は上記の波長に限るものではない。感度が必要な場合は紫外光を用い、その場合は対物レンズ 1 0 5、真空封し窓 1 0 7、ハーフミラー 1 0 8、結像光学系 1 1 0 が合成石英等の紫外領域対応光学素子または反射型光学素子となる。さらに感度が必要な場合は真空紫外光を用い、その場合は対物レンズ 1 0 5、真空封し窓 1 0 7、ハーフミラー 1 0 8、結像光学系 1 1 0 が融解石英等の真空紫外領域対応光学素子または反射型光学素子となり、さらに顕微鏡 1 4 における光路全体が、真空紫外線が伝播と共に吸収されることを防ぐ為に真空中または例えば窒素ガス雰囲気中に設置される。真空紫外線を伝播させることが目的なので、充填させる気体は窒素に限らない。

20

## 【 0 0 2 6 】

試料 1 の照射には、試料 1 が鏡面ウエハである場合は P 偏光したレーザ光を用い、試料 1 の表面が金属薄膜で覆われている場合は S 偏光したレーザ光を用いる。P 偏光又は S 偏光の直線偏光を用いるのは、より散乱光を効率よく観測し、S / N のよい観測を実現する為である。すなわち、鏡面ウエハを観察する場合に S 偏光では散乱能が悪くなり絶対的な散乱光量が減少してしまい効率が悪くなるために P 偏光照明が適しており、一方、金属薄膜等を観測する場合に P 偏光照明をすると基板よりの散乱光が強くなり微小欠陥または微小異物を観測できなくなるために S 偏光照明が適している。

30

## 【 0 0 2 7 】

また、基板よりの散乱光を抑制するために、基板表面に対して 1 0 ° 程度の低仰角で照明することとする。ミラー 1 0 4 は対物レンズ 1 0 5 が上下動した際にも対物レンズ 1 0 5 視野内を照明可能なように対物レンズと共に可動する機構 ( 図示せず ) を有する。または、ミラー 1 0 4 は対物レンズ 1 0 5 視野内の照明位置を変えられるように独立して可動な機構 ( 図示せず ) を有していても良い。

## 【 0 0 2 8 】

図 3 は、Z センサ 4 または 7 を示す。Z センサ 4 または 7 は、高さ測定光を出射する光源 7 5 1、スリット 7 0 3、照明 7 5 1 より出射された高さ測定光をスリット 7 0 3 へ集光する集光レンズ 7 0 2、高さ測定光としてスリット 7 0 3 を透過した光の像 ( スリット 7 0 3 の像 ) を試料 1 の表面に結像させる結像レンズ 7 0 4、試料 1 で反射してきた高さ測定光を集光する集光レンズ 7 0 5、集光レンズ 7 0 5 で集光された高さ測定光を検出して電気信号へ変換する検出器 7 0 6 を備えて構成されている。検出器 7 0 6 で電気信号へ変換された高さ測定光の情報は制御システム 1 0 へ送られ高さが算出される。尚、検出器 7 0 6 としては、二次元 C C D 又はラインセンサ、2 分割又は 4 分割のポジションセンサを用いる。

40

## 【 0 0 2 9 】

図 4 は、光学顕微鏡 1 4 の詳細構成を示す。光学顕微鏡 1 4 は、暗視野照明ユニット 1

50

01、落射ミラー102、ミラー104、対物レンズ105、高さ制御機構106、ハーフミラー108、明視野光源109、結像光学系110、固体撮像素子111を備えて構成される。結像光学系110は、対物レンズ105の瞳面112aを取り出すレンズ113a、像を結像させるレンズ113b、取り出した瞳面112bに挿入するフィルタ部114を備えて構成される。フィルタ部114の例としては分布偏光素子がある。本実施例においては、フィルタ部114に特性の異なる分布偏光素子をホルダ401で複数保持して(図5に示した例では114aから114dの4種類)瞳面112bに挿入する分布偏光素子114aから114dを切り換えることが可能な構成としている。また、高さ制御機構106、固体撮像素子111は制御システム10と接続されている。

#### 【0030】

レンズ113aは対物レンズ105の瞳面112を外部へ引き出して結像光学系110の内部に形成する為に用い、ホルダ402を駆動して、結像光学系110の内部に取り出した瞳面112上にホルダ402で保持する複数の分布偏光素子114aから114dの中から選択した分布偏光素子を挿入する。ホルダ402は、分布偏光素子114aから114dの代わりに、空間フィルタまたは空間フィルタと同一基板上に形成された分布偏光素子を挿入しても良い。レンズ113a及びレンズ113bは二つ一組で、試料1の像を固体撮像素子111の検出面上へ結像させる。

#### 【0031】

ハーフミラー108の反射と透過の比率は任意でよい。ただし、明視野光源109の光強度が十分確保される場合は、欠陥からの散乱光をより多く結像光学系110及び固体撮像素子111へ導く構成とする方がよりよい。

#### 【0032】

明視野光源109はランプ、又はレーザを用いることができる。レーザを用いる場合はハーフミラー108をダイクロイックミラーへ交換することにより、照明を明るくし、より多くの散乱光を固体撮像素子111へ導くことができる。または、暗視野観察をする際には、ハーフミラー108を結像光学系110及び対物レンズ105の光軸115から外す機構(図示せず)を有してもよい。その場合はより多くの散乱光を固体撮像素子111へ導ける利点がある。

#### 【0033】

図5は、対物レンズ105の瞳面112bに挿入された分布偏光素子114aから114dを結像光学系110の光軸115上で切り替える機構401を示す。機構401は特性の異なる複数の分布偏光素子114aから114dを配置するホルダ402、ホルダ402を回転させる軸ための回転駆動部403を備えて構成される。ホルダ402は、検出する微小欠陥の種類に応じて複数の分布偏光素子114aから114dのうちの何れかに切り替える機構である。一方、明視野観察をする場合には、取得画像が乱れることを回避する為にホルダ402の位置を分布偏光素子114aから114dが設置されていない場所に設定して観察する。又は、ホルダ402に分布偏光素子114aから114dと同厚の平行平板ガラスを設置した場所へ切り替える。分布偏光素子114aから114dと同厚の平行平板ガラスを設置するのは、分布偏光素子114aから114dを外すと光路長が変化して固体撮像素子111に試料1の像が結像しなくなることを回避するためである。又は、平行平板ガラスを設置せず、像を結像させるレンズ113b又は固体撮像素子111の位置を調整し、固体撮像素子111に結像させる機構を用いても良い。

#### 【0034】

図5に示した実施例では、特性の異なる複数の分布偏光素子114aから114dをホルダ402に設置した場合について説明したが、複数の分布偏光素子114aから114dの代わりに特性の異なる複数の空間フィルタをホルダ402に設置してそれらを切り換えて用いるようにしても良い。空間フィルタをホルダ402に設置する場合で明視野観察をする場合には、取得画像が乱れることを回避する為にホルダ402の位置を空間フィルタが設置されていない場所に設定して観察する。又は、ホルダ402に空間フィルタと同厚の平行平板ガラスを設置した場所へ切り替える。又は、又は、平行平板ガラスを設置せず

10

20

30

40

50

、像を結像させるレンズ 113b 又は固体撮像措置 111 の位置を調整し、固体撮像素子 111 に結像させる機構を用いても良い。

【0035】

図6は、分布偏光素子 114a から 114d を出し入れする機構の別の実施形態を示す。機構 410 は、分布偏光素子ホルダ 405 がスライドし分布偏光素子 114e を結像光学系 110 の光軸 115 より出し入れする機構である。図6では分布偏光素子 114e が 1つの場合について示しているが、複数であっても良い。また、この実施形態においても分布偏光素子 114e の代わりに空間フィルタを用いても良い。また、分布偏光素子 114 と空間フィルタを組み合わせ用いてもよい。

【0036】

図7(a)及び(b)は、結像光学系 110 内部の瞳面 112b に挿入する分布偏光素子 114a 及び 114b の偏光特性の例を示す。1002 は瞳外周であり 9001 は透過偏光軸方向である。分布偏光素子 114a 及び 114b は、その直径が最低でも瞳面 1121002 全体を覆う大きさであり、分布偏光素子 114a 及び 114b の各点で透過偏光軸方向 9001 が異なっている。

【0037】

面内で透過偏光軸方向 9001 が分布する分布偏光素子 114a 及び 114b は、直線偏光子のつなぎ合わせ、又はフォトリソグラフィ、又はワイヤグリッドポラライザ、又は液晶と偏光子の組み合わせによって実現される。ここで、フォトリソグラフィとは光の波長以下の周期で屈折率が異なる微細構造よりなる光学素子であり、ワイヤグリッドポラライザとは導電性細線を周期的に配列して光学的異方性を持たせた偏光素子である。

【0038】

図8(a)乃至(d)に、フィルタ 114 として図5に例示した分布偏光素子 114a 乃至 114d の代わりに空間フィルタ 1000a 乃至 1000d を瞳面 112 に挿入する場合の例を示す。この例においては、図5に示した切替機構 401 に、複数の分布偏光素子 114a から 114d の代わりに形状の異なる空間フィルタ 1000a 乃至 1000d を設置する。図8(a)乃至(d)において、1002 が瞳外周、1003 乃至 1006 が遮光部である。

【0039】

図8(a)に示した空間フィルタ 1000a における遮光部 1003 の  $l$ 、及び図8(b)に示した空間フィルタ 1000b における遮光部 1004 の  $l$  及び  $\theta$  の値は、散乱光シミュレーションあるいは実測によって求められる散乱光強度分布を基にして決定する。

【0040】

透過偏光軸方向 9001 および空間フィルタ形状の  $l$  または  $\theta$  の値の決定方法の一例を、図9及び図10を用いて説明する。

初めに、分布偏光素子 114a 乃至 114d の透過偏光軸方向 9001 を決定する上で必要となる散乱光シミュレーションと用語を図9を用いて説明する。散乱光シミュレーションは、試料 1 に斜め上方より照明光であるレーザを照明し、試料 1 上に置かれた微小異物または微小欠陥より散乱された光を結像光学系の試料 1 に最も近い光学素子の試料 1 に最も近い表面での、散乱光の強度分布と偏光分布を計算するというものである。散乱光の偏光は、入射面と平行な偏光を P 偏光とし、P 偏光と垂直方向の偏光を S 偏光とする。また、以降、強度分布または偏光分布を求めた面の中で、照明光入射 700 の側半分を入射側、残り半分を射出側と呼ぶ。

【0041】

次に分布偏光素子 114a 乃至 114d の偏光透過軸分布  $h(r, \theta)$  および空間フィルタ 1000a 乃至 1000d の遮光領域  $g(r, \theta)$  を決定する方法について述べる。

【0042】

初めに、散乱光シミュレーションによって高感度で検出したい微小欠陥または微小異物よりの散乱光強度分布  $f_s(r, \theta)$  及び散乱光の P 偏光の分布  $p_{sp}(r, \theta)$  と S 偏光の分布  $p_{ss}(r, \theta)$ 、および基板表面の微小凹凸よりの散乱光強度分布  $f_N(r, \theta)$

10

20

30

40

50

)及び散乱光のP偏光の分布  $p_{NP}(r, \theta)$  とS偏光の分布  $p_{NS}(r, \theta)$ 、を求め

【0043】

分布偏光素子114の偏光透過軸方向分布  $h(r, \theta)$  は、基板表面の微小凹凸よりの散乱光を最も遮断する偏光軸分布、すなわち(数1)の  $h(r, \theta)$  を最小化する  $h(r, \theta)$ 、または微小欠陥または微小異物よりの散乱光を最も透過させる偏光軸分布、すなわち(数2)の  $h(r, \theta)$  を最大化する  $h(r, \theta)$ 、または基板表面の微小凹凸よりの散乱光を遮断し微小欠陥または微小異物よりの散乱光を透過させる偏光軸分布、すなわち(数3)の  $h(r, \theta)$  を最大化する  $h(r, \theta)$  として決定される。

【0044】

【数1】

$$\Pi = \int \sqrt{|\mathbf{p}_{NP}(r, \theta) \cdot \mathbf{h}(r, \theta)|^2 + |\mathbf{p}_{NS}(r, \theta) \cdot \mathbf{h}(r, \theta)|^2} dr d\theta$$

【0045】

【数2】

$$\Lambda = \int \sqrt{|\mathbf{p}_{SP}(r, \theta) \cdot \mathbf{h}(r, \theta)|^2 + |\mathbf{p}_{SS}(r, \theta) \cdot \mathbf{h}(r, \theta)|^2} dr d\theta$$

【0046】

【数3】

$$\Omega = \frac{\int \sqrt{|\mathbf{p}_{SP}(r, \theta) \cdot \mathbf{h}(r, \theta)|^2 + |\mathbf{p}_{SS}(r, \theta) \cdot \mathbf{h}(r, \theta)|^2} dr d\theta}{\int \sqrt{|\mathbf{p}_{NP}(r, \theta) \cdot \mathbf{h}(r, \theta)|^2 + |\mathbf{p}_{NS}(r, \theta) \cdot \mathbf{h}(r, \theta)|^2} dr d\theta}$$

一方、空間フィルタの遮光領域  $g(r, \theta)$  を決定する方法は、例えば(数4)に示した  $\Psi$  を最大化するように遮光領域  $g(r, \theta)$  を最適化するという方法である。

【0047】

【数4】

$$\Psi = \frac{\int f_S(r, \theta) \times g(r, \theta) dr d\theta}{\int f_N(r, \theta) \times g(r, \theta) dr d\theta}$$

より簡単に、基板表面の微小凹凸よりの散乱光が強い領域を遮光する分布をもつ空間フィルタとする方法、または基板表面の微小凹凸よりの散乱光が強い領域を遮光する分布をもつ空間フィルタと直線偏光子を組み合わせる方法もある。

【0048】

次に分布偏光素子114a乃至114dの偏光透過軸方向分布及び空間フィルタ1000a乃至1000dの遮光特性の決定方法について、散乱光シミュレーション結果の例を挙げて具体的に説明する。

図10(a)乃至(f)に散乱光シミュレーションによって算出された、被検査ウェハ1の表面の微小凹凸及び微小粒子であるpolystyrene latex(以降、PSLと記述)よりの散乱光偏光分布の一例を示す。

【0049】

図10(a)は30nm PSLによる散乱光(照明波長400nm)のP偏光の分布を、図10(b)は30nm PSLによる散乱光のS偏光の分布を、図10(c)は被検査ウェハ1の表面凹凸よりの散乱光のP偏光分布を、図10(d)は被検査ウェハ1の表面凹凸よりの散乱光のS偏光分布を、図10(e)はPSLよりの散乱光と被検査ウェハ1の表面凹凸よりの散乱光の比(以降、S/Nと記述)のP偏光分布を、図10(f)はS/NのS偏

10

20

30

40

50

光分布を示す。

【0050】

図10(a)及び図10(b)より、PSLによる散乱光は照明光入射700側と照明射出701側の瞳面112外周部でP偏光が強く、その直角方向瞳面112外周部でS偏光が強いことがわかる。一方、図10(c)および図10(d)より、被検査ウェハ1の表面凹凸により発生する散乱光は、照明入射700の側ではP偏光が強く、照明入射側700の方向 $\pm 45^\circ$ 方向ではP偏光とS偏光が同強度であり $45^\circ$ 偏光であることがわかる。また、図10(c)および図10(d)より照明射出701側においては被検査ウェハ1の表面凹凸により発生する散乱光は微弱であることがわかる。

【0051】

図10(a)ないし図10(d)より算出したS/Nを図10(e)および図10(f)に示す。図10(e)はP偏光のS/Nを示し、図10(f)はS偏光のS/Nを示す。

【0052】

被検査ウェハ1の表面凹凸からの散乱光を遮断する偏光透過軸方向9001の分布を持つ構成の分布偏光子114は、例えば図10(c)および図10(d)より、図7(a)及び図7(b)に例示したように決定することができる。図7(a)および図7(b)は分布偏光子114の偏光透過軸方向9001の分布形状を例示したものであり、1002が分布偏光子の縁を示し、9001は偏光透過軸方向を示している。照明光の入射面と瞳面112の交線上及びその近傍ではS偏光透過であり、照明入射700の方向に対して $\pm 45^\circ$ 傾いた方向では、 $45^\circ$ 偏光透過であり、瞳面112の照明射出701の側ではP偏光透過であり、瞳中央部及び照明入射と直角方向の瞳周辺部ではS偏光透過分布となる。また、PSLからの散乱光を最大限に採光するための偏光透過軸方向9001の分布形状は、図10(a)および図10(b)に示した散乱光分布特性に基づいて決定され、例えば、図11に示すような瞳面112外周に平行な同心円状の偏光透過軸方向9001となる。

【0053】

また、被検査ウェハ1表面の微小凹凸からの散乱光に占める微小欠陥又は微小異物からの散乱光成分の比率が高い偏光を透過させる偏光透過軸方向9001の分布形状は、図10(e)および図10(f)より決定することができ、例えば、照明射出701の側の瞳外周部のP偏光のみを透過させるような偏光透過軸方向9001の分布形状となる。

【0054】

なお、検出する微小異物または微小欠陥の形状や大きさや屈折率等の光学的性質によって散乱光の強度分布および偏光分布が異なる為、結像光学系瞳面112に挿入する分布偏光子の偏光分布は図7(a)及び図7(b)及び図11に示した偏光透過軸方向9001の分布形状に限るものではない。

【0055】

空間フィルタ1000a乃至1000dの形状の一例を図8(a)乃至図8(d)に示す。空間フィルタ1000a乃至1000dの直径dは瞳直径以上であれば良く、空間フィルタ1000a乃至1000dの中心は結像光学系110の光軸115に一致するように配置され、遮光部1003乃至1006が含まれる。図8(a)は暗視野照明の入射方向700に対して略直角方向に遮光部1003の端がある空間フィルタ1000aであり、図8(a)の例では $l < d/2$ であり、瞳内の入射側一部を遮光する構成である。図8(a)に示した空間フィルタ1000aは、図10(c)に示した被検査ウェハ1の表面微小凹凸により発生した散乱光のP偏光を遮光する為に用いることができ、略 $l = d/2$ とすることにより被検査ウェハ1の表面微小凹凸により発生する散乱光のP偏光およびS偏光の両方を遮光する空間フィルタとして機能する。ただし、観測対象である微小欠陥または微小異物の形状や大きさまたは測定で必要とする感度によっては $l > d/2$ とした空間フィルタを用いてもよい。例えば、図10(e)に示したようにS/Nの高い部分を選択的に検出したい場合は、 $l$ はほぼ $0.8d$ となる。

【0056】

図8(b)は、瞳内部で方位角 頂角 の扇形の領域を遮光する遮光部1004を有する

10

20

30

40

50

空間フィルタ 1000b の例を示す。図 8 (b) の空間フィルタ 1000b は、瞳面 112 の中心 (結像光学系 110 の光軸 115) に遮光部 1004 の扇形の頂点を合わせているが、必ずしも遮光部 1004 の頂点が結像光学系 110 の光軸 115 と一致している必要は無い。図 8 (b) に示した空間フィルタ 1000b は、図 10 (c) に示した被検査ウェハ表面微小凹凸による散乱光の P 偏光のみを遮光する空間フィルタの一例である。なお、観測対象である微小欠陥または微小異物の形状や大きさまたは測定で必要とする感度によって角度  $\theta$  は決定され、 $0^\circ < \theta < 360^\circ$  の間で任意に選択可能である。

【0057】

また、図 8 (c) に示すように、瞳内に島状の遮光部分 1005 を有する空間フィルタ 1000c であってもよい。または、図 8 (a) ないし図 8 (c) に示した空間フィルタ 1000a 乃至 1000c とを複数組み合わせた形状の遮光部 1006 を有する空間フィルタ 1000d を用いても良い。

10

【0058】

瞳面 112b に挿入される空間フィルタ 1000a 乃至 1000d の遮光部分 1003 乃至 1006 には、例えば黒色ツヤ消し表面処理を施された金属板等の遮光板、又は偏光素子と液晶の組み合わせ、又はデジタルミラーアレイにより構成される。

【0059】

瞳面 112b に挿入される分布偏光素子 114a 乃至 114d のうちの何れかと空間フィルタ 1000a 乃至 1000d のうちの何れかを同一基板に形成してもよく、その一例を図 12 (a) に複合フィルタ 1200 として示す。図 12 (a) に示した複合フィルタ 1200 おいて、115 は結像光学系 110 の光軸、1001 は遮光部、9001 は透過偏光軸方向を示す。図 12 (a) に例示した、空間フィルタと分布偏光素子とを同一基板上に形成した複合フィルタ 1200 は、被検査ウェハ 1 の表面の微小凹凸よりの散乱光の P 偏光を遮光し、かつ PSL よりの散乱光を選択的に取得する偏光分布を持つ分布偏光素子の組み合わせである。これは (数 3) の  $\theta$  と (数 4) の  $\theta$  を共に最大化させる分布偏光素子の偏光透過軸分布  $h(r, \theta)$  および空間フィルタの遮光領域  $g(r, \theta)$  の組み合わせである。分布偏光素子 114a 乃至 114d のうちの何れかと空間フィルタ 1000a 乃至 1000d のうちの何れかを同一基板上に形成する方法としては、フォトニック結晶、又は偏光素子と液晶、または遮光版とワイヤーグリッドポラライザの組み合わせ等が考えられる。

20

30

【0060】

瞳面 112b に挿入される分布偏光素子 114a 乃至 114d のうちの何れかと空間フィルタ 1000a 乃至 1000d のいずれかを同時に組み合わせ用いても良く、その一例を複合フィルタ 1201 として図 12 (b) に示す。図 12 (b) に示した複合フィルタ 1201 において、115 は結像光学計 110 の光軸、1001 は遮光部、9001 は透過偏光軸方向を示す。

【0061】

なお、検出する微小異物または微小欠陥の形状や大きさや屈折率等の光学的性質によって散乱光の強度分布が異なる為、結像光学系瞳面 112b に挿入する空間フィルタの遮光特性は図 8 (a) ないし図 8 (d) に示した形状に限るものではない。空間フィルタとしては、被検査ウェハ 1 の表面微小凹凸による散乱光の分布特性に合わせて、この散乱光成分を遮光するような形状であれば良い。

40

【0062】

図 1 に示した欠陥観察装置の構成における動作を説明する。まず、試料 1 は、図示されていないロードロック室を介して真空チャンバ 6 内の試料ホルダ 2 上へ移送される。そして、試料 1 は、ステージ 3 の制御により、光学顕微鏡 14 の視野内へ移動される。この時点では試料 1 が光学顕微鏡の焦点位置からずれている可能性がある。試料 1 の高さが焦点位置からずれている場合は、光学顕微鏡 14 の焦点位置に試料 1 が設定されるように高さ制御機構 106 を用いて対物レンズ 105 及びミラー 104 を Z 方向に移動する。Z 方向の移動量決定方法は後述する。

50

## 【0063】

他の欠陥検査装置（図示せず）で検出されたウェハ1上の欠陥の位置情報を用いて、図1に示した欠陥観察装置のステージ3に載置したウェハ1上の欠陥を観察するためには、ステージ3の基準にウェハ1の基準位置を合わせるウェハアライメントを行わなければならない。このウェハアライメントは、明視野観察画像を用いて行う。明視野検出時には、明視野照明109より照明光を射出し、ハーフミラー108で反射されて対物レンズ105を用いて試料1へ照射される。試料1からの反射光は、結像光学系110を通り、固体撮像素子111に結像される。ここで、明視野光源109は例えばランプである。本実施形態の明視野観察では、結像光学系110に挿入されるフィルタ114は同厚の平行平板ガラスに切り替えられる。試料1の外形（試料1がウェハであれば例えばオリエンテーションフラットやノッチ）でアライメントを行う場合は、試料1の位置決めポイント及び外形の数点の画像を取得して処理すればよい。

10

## 【0064】

ウェハアライメントの後、欠陥検査装置で検出された欠陥の位置情報に従って、欠陥を光学顕微鏡14の視野内に移動し、光学顕微鏡14の暗視野観察方法で欠陥画像を取得する。このとき、各欠陥位置において試料1の高さが光学顕微鏡14の焦点位置より外れている場合は、後述する方法によって焦点合わせを行う。

## 【0065】

ここで、暗視野観察方法について説明する。暗視野観察方法は、照明ユニット101より照明光を射出する。照明光はレーザ光でもランプ光でも良いが、レーザ光の方が照度を強くできるため、レーザ光を用いるのが望ましい。

20

## 【0066】

照明ユニット101より射出された光は、落射ミラー102で反射されZ方向へ向きを変えられ、真空封し窓103を通過して真空槽6に導かれ、ミラー104によって方向を変えられて光学顕微鏡14焦点位置にある試料1表面へ照射される。試料1で散乱された光は、対物レンズ105にて集光し、結像光学系110に導かれ、固体撮像素子111撮像位置に結像され、固体撮像素子111にて電気信号へ変換され、制御システム10に送られる。

## 【0067】

上記の光学顕微鏡14の暗視野検出方法で取得された画像は、濃淡画像またはカラー画像として制御システム10に蓄積される。制御システムでは、図13のようにSEM5の視野範囲302の中心位置と欠陥302の位置ずれ量304a及び304bを算出し、該ずれ量を座標補正值として登録する。この後、座標補正值を用いて欠陥303がSEM5の視野302内に入るようにステージ3で試料1を移動し、SEM5にて観察する。観察された欠陥の画像は制御システム10に送信され、ユーザーインターフェース11への表示とデータベース12への登録、自動欠陥分類等の処理を行う。

30

## 【0068】

欠陥観察の流れを図14で説明する。

まず、試料1のアライメントを行う（6001）。これは光学顕微鏡14による明視野観察によって前述した方法によって行う。次に、予め他の欠陥検査装置によって検出された欠陥の位置情報を用いて試料1上の観察したい欠陥が光学顕微鏡14の視野に入るようにステージ3を移動させる（6002）。次に高さ制御機構106にて対物レンズ105を移動させて焦点合わせを行う（6003）。

40

## 【0069】

光学顕微鏡14と固体撮像素子111にて取得した画像より欠陥を探索し（6004）、欠陥を検出したのであれば（6005 - YES）、光学顕微鏡14による欠陥検出位置と予め他の欠陥検査装置によって検出された欠陥の位置情報との差から予め他の欠陥検査装置によって検出された欠陥の位置情報を用いてこの欠陥をSEMで観察しようとしたときの欠陥に対するSEM5の視野位置のズレ量を算出する（6006）。この算出したズレ量を基にして前記予め他の欠陥検査装置によって検出された欠陥の位置情報を補正し（

50

6007)、この位置情報が補正された欠陥をSEM5の視野へ移動し、観察を行う(6008)。このとき、観察された情報は制御システム10へ送られ、データベース11に登録される。尚、観察すべき欠陥が多数ある場合には、そのうちの代表的な数点を抽出し、それら抽出した欠陥の予め他の欠陥検査装置によって検出された位置情報と光学顕微鏡14で検出して得たそれぞれの欠陥の位置情報とから、予め他の欠陥検査装置によって検出された欠陥の位置とSEM5の視野位置のずれ量を求める。この求めたずれ量の情報を用いて、代表的な数点以外の光学顕微鏡14で検出しなかった欠陥についても予め他の欠陥検査装置で検出して得た位置情報を補正する。

#### 【0070】

次に、欠陥情報が必要でない場合は(6009-NO)、観察終了とし(60010)、観察が必要である場合(6009-YES)は観察したい欠陥位置情報を取得し、上述した光学顕微鏡14へ欠陥を移動する手順へ戻り、処理を進める。なお、上述した欠陥検出手順で欠陥検出できなかった場合(6005-NO)は、欠陥が光学顕微鏡14の視野の外にすることが考えられるため、光学顕微鏡14の視野周辺部を探索してもよい。周辺部を探索する場合(6012-YES)は、視野に相当する分だけ試料1を移動し(6011)、上述した欠陥検出手順から処理を行う。また、周辺探索をしない場合(6012-NO)は、手順に従って処理を進める。

#### 【0071】

各欠陥に対して欠陥位置の補正量を予め算出してデータベースに登録しておき、複数の欠陥又は全ての欠陥の位置補正量算出が終了した後に、SEM5にて検察する方法もある。

#### 【0072】

次に、Z位置の算出方法を図3で説明する。図3は、Zセンサ4および6の構成を示しており、光源751、集光レンズ702、スリット703、投光レンズ704、受光レンズ705、検出器706で構成される。照明光源は例えばレーザ発振器やランプであり、検出器706は例えばCCDカメラ、CCDリニアセンサである。

#### 【0073】

Zセンサ4及び6の動作を説明する。照明光源751より射出された光は照明集光レンズ702にてスリット703へ照射され、投光レンズ704にて試料1表面へ集光される。試料1で反射された光は、受光レンズ705を通過して検出器706へ集光される。Z位置算出法としては、まず、試料1が基準高さにある場合の検出器706の光検出位置を記憶しておく。次に、高さが変化すると、検出器706における光検出の位置が変化するため、光検出位置の移動量と試料1の高さ変化の関係を予め測定しておくことにより、光検出位置の変化より試料1の高さを算出することができる。

#### 【0074】

本実施形態は、SEMを用いて観察する場合を例にして説明しているが、STEM等の他の電子顕微鏡や、収束イオンビームを用いた微細加工機器、X線分析装置を用いた分析機器等、光学式観察方法よりも詳細な観察を可能とする方法及び機器に適用可能である。

#### 【0075】

Z位置を算出する別の方法を図15で説明する。図15は、Z位置算出手順を示している。本方法は、光学顕微鏡で取得した画像を用いる方法である。まず、Z制御機構105を用いて対物レンズを最下点(対物レンズが最も試料に近い点)に移動させる(1101)。次に、検出器108にて画像を取得し、制御システム10に送る(1102)。このとき、視野内に試料のエッジや回路パターンが入っている場合は明視野観察した画像を用いることが望ましく、該パターンが無く、エッジも無い場合は暗視野観察した画像を用いることが望ましい。画像取得後、Z制御機構105にて対物レンズ104を1段階上へ移動させる(1103)。ここで、1段階とはZ位置検出の分解能に係り、対物レンズ104の焦点深度の1/2以下が望ましい。対物レンズ104を移動した後、再び画像取得を行う。該Z移動と画像取得は予め設定した範囲で行われるものであり、設定範囲を超えた場合は画像取得を終了し(1104)、Z位置算出へ進む(1105)。

10

20

30

40

50

## 【0076】

Z位置算出処理の一例を説明する。初めに、取得した各画像の最大輝度点を探索し、その輝度と該最大輝度点を取得したZ位置をグラフにプロットする(1106)。次に、グラフ1106における最大輝度を算出する。この際、各計測点を曲線で近似し、最大輝度点を算出することが望ましい。算出された最大輝度点のZ位置が対物レンズ105の焦点が最も合っている位置となる。

## 【0077】

上記Z算出方法を用いる場合は、Zセンサ7を省略することができ、簡潔な構成となる。

## 【0078】

本実施の形態における、光学顕微鏡14の第二の構成例を図16で説明する。光学顕微鏡14は、暗視野照明ユニット101、落射ミラー102、ミラー104、対物レンズ105、高さ制御機構106、結像光学系110、固体撮像素子111、対物レンズ回転機構117、液晶制御装置118より構成されている。結像光学系110は結像レンズ116のみで構成され、分布偏光素子114が対物レンズ105の瞳面112aに固定される構成である。

10

## 【0079】

この場合、対物レンズ105の瞳面112aを対物レンズ外部へ取り出すレンズ系、ハーフミラー108、明視野照明109を省略し、簡易な構成となる利点がある。

## 【0080】

この場合、分布偏光素子114の角度調整を行う為に対物レンズ105を対物レンズ105中心軸周りで回転させる機構117を備えてもよい。その場合、回転機構117は制御システム10と接続している。

20

## 【0081】

本実施の形態における、光学顕微鏡14の第三の構成例を図17で説明する。光学顕微鏡14は、暗視野照明ユニット101、落射ミラー102、ミラー104、対物レンズ105、高さ制御機構106、結像光学系110、固体撮像素子111、液晶制御装置118、偏光板119より構成されている。結像光学系110は結像レンズ116で構成され、分布偏光素子114として液晶素子を対物レンズ105の瞳面112aに固定する構成である。この場合、図17に示すように分布偏光素子の透過偏光軸は対物レンズ外部に設けた液晶制御装置118と偏光板119の組み合わせにより制御可能であり、液晶の偏光特性を非偏光とすることで明視野観察が可能となり、偏光特性を持たせることにより高感度暗視野観察が可能となる利点がある。液晶制御装置118は制御装置10と接続されている。この場合、対物レンズ回転機構117を省略できる利点がある。明視野観察を実施するにはハーフミラー108及び明視野照明109を用いる構成とする。

30

## 【0082】

(第2の実施形態)

次に、本発明にかかる欠陥検査装置の第2の実施形態について図18を用いて説明する。本第2の実施形態において第1の実施形態と相違する点は、ハーフミラー108および明視野照明109を配置しない点である。そのため、図18に示す簡便な構成となる利点がある。図18に示した構成において、図1の構成と同じ番号を付したものは図1を用いて説明したものと同様な機能を有する。

40

## 【0083】

この場合、光学顕微鏡14の焦点合わせは、Zセンサ7を用いるか、前述した光学顕微鏡14で取得した暗視野画像を基とした画像処理にて行う。

## 【0084】

この場合、光学顕微鏡14を図16に示すように、分布偏光素子114を対物レンズ105の瞳面112aに固定する構成としてもよい。

## 【0085】

(第3の実施形態)

50

本発明にかかる欠陥検査装置の第3の実施形態について図19を用いて説明する。本第3の実施形態において第1の実施形態と相違する点は、顕微鏡14のZセンサ7、ハーフミラー108、明視野照明109を配置しない点である。そのため、図19に示す簡便な構成となり、また、対物レンズ105をより開口数の大きな対物レンズを設置する空間が確保される利点がある。図19に示した構成において、図1の構成と同じ番号を付したものは図1を用いて説明したものと同様な機能を有する。

【0086】

この場合、光学顕微鏡14の焦点合わせは、Zセンサ4を用いるが、前述した光学顕微鏡14で取得した暗視野画像を基とした画像処理にて行う。

【0087】

この場合、光学顕微鏡14を図16に示すように、分布偏光素子114を対物レンズ105の瞳面112aに固定する構成としてもよい。

【0088】

(第4の実施形態)

本発明にかかる欠陥検査装置の第4の実施形態について図20を用いて説明する。本第4の実施形態において第1の実施形態と相違する点は、顕微鏡14のZセンサ7を配置しない点である。そのため、図20に示す簡便な構成となり、また、対物レンズ105をより開口数の大きな対物レンズを設置する空間が確保される利点がある。図20に示した構成において、図1の構成と同じ番号を付したものは図1を用いて説明したものと同様な機能を有する。

【0089】

この場合、光学顕微鏡14の焦点合わせは、前述した光学顕微鏡14で取得した明視野画像または暗視野画像を基とした画像処理にて行う。

【0090】

この場合、光学顕微鏡14を図16に示すように、分布偏光素子114を対物レンズ105の瞳面112aに固定する構成としてもよい。

【0091】

次に、前述の各実施形態で用いるフィルタ部114の代わりに配置可能な種々の分布フィルタ2222について、図21乃至図35を用いて説明する。

ここで、以下に説明する各種分布フィルタ2222を構成する、位相シフタ391の配置、波長板331・332の遅相軸と進相軸の傾き、偏光方向制御装置665による旋光方向、空間フィルタにおける遮光部及び偏光子の透過偏光軸方向は、先に図9を用いて説明した散乱光シミュレーション若しくは実測によって求められる散乱光強度分布を基にして決定する。

【0092】

次に、位相シフタの配置、及び波長板の遅相軸と進相軸の傾き338、339、及び偏光方向制御装置による旋光方向780を決定する方法について述べる。

【0093】

図21(a)及び(b)に、散乱光シミュレーションを用いて算出された、基板表面の凹凸からの散乱光の散乱光強度分布 $f_N(r, \theta)$ 、散乱光のラジアル偏光(P偏光)成分の分布 $p_{Np}(r, \theta)$ 、アジマス偏光(S偏光)成分の分布 $p_{Ns}(r, \theta)$ 、X偏光の分布 $p_{Nx}(r, \theta)$ 、Y偏光の分布 $p_{Ny}(r, \theta)$ 、と、欠陥又は異物からの散乱光の散乱光強度分布 $f_s(r, \theta)$ 、散乱光のラジアル偏光(P偏光)成分の分布 $p_{sp}(r, \theta)$ 、アジマス偏光(S偏光)成分の分布 $p_{ss}(r, \theta)$ 、X偏光の分布 $p_{sx}(r, \theta)$ 、Y偏光の分布 $p_{sy}(r, \theta)$ を示す。これらの分布は、散乱光シミュレーションによって、基板表面の微小凹凸からの散乱光のストークスベクトル及び高感度に検出したい異物からの散乱光のストークスベクトルを得、これらの得られたストークスベクトルを用いて求められる。なお、求める偏光はこれらに限られず、偏光の角度が $\theta$ から $\theta + \Delta\theta$ の範囲に傾いた直線偏光でもよいし、楕円(円)偏光であってもよい。

【0094】

10

20

30

40

50

図 2 1 ( a ) は基板表面の微小凹凸よりの散乱光 ( 照明波長 4 0 5 n m ) のラジアル偏光の強度分布 7 7 1、アジマス偏光の強度分布 7 7 2、X 偏光の強度分布 7 7 3、Y 偏光の強度分布 7 7 4 を示す。また、図 2 1 ( b ) は、直径 1 8 n m の球状異物による散乱光のラジアル偏光の強度分布 7 7 5、アジマス偏光の強度分布 7 7 6、X 偏光の強度分布 7 7 7、Y 偏光の強度分布 7 7 8 を示す。なお、軸 3 9 3 は、照明の入射光軸を瞳面 1 1 2 上に対応させた軸を示す。

【 0 0 9 5 】

図 2 1 の各分布において、領域 7 7 9 は散乱光強度の強い領域、領域 7 8 0 は散乱光強度がやや強い領域、領域 7 8 1 は散乱光強度のやや弱い領域、領域 7 8 2 は散乱光強度の弱い領域を示すが、これらは同分布における強度の相対的關係を示すものであり、各分布間で同一領域であっても必ずしも同一強度を示すものではない ( 例えば、ラジアル偏光の強度分布の領域 7 7 9 と X 偏光の強度分布の領域 7 7 9 とは必ずしも同一の強度を示すものではない ) 。

10

【 0 0 9 6 】

図 2 1 ( a ) に示す各偏光の散乱光強度分布によれば、基板表面の微小凹凸よりの散乱光は、照明入射 7 0 0 側 ( 後方散乱 ) で強く、後方散乱の偏光はラジアル偏光が強いことがわかる。また、図 2 1 ( b ) に示す各偏光の散乱光強度分布によれば、微小異物からの散乱光は、ほぼ等方的であり、ラジアル偏光が強いことが分かる。したがって、これらの結果に基づいて、適宜偏光フィルタを設定・配置することで、異物からの散乱光に対する基板表面からの散乱光の比を大きくすることができ、高 S / N の欠陥検出が可能となる。

20

【 0 0 9 7 】

図 2 2 は、光学顕微鏡の瞳面 1 1 2 付近に位相シフタ 3 9 1 を適用した場合のラジアル偏光に対する一例を示す図である。ここで、異物からの散乱光の偏光方向は、照明の入射光軸を瞳面 1 1 2 上に対応させた軸 3 9 3 に対して振動方向及び強度がほぼ等しいため、照明の入射光軸を瞳面 1 1 2 上に対応させた軸 3 9 3 に対して対称な振動方向の光を干渉させることにより一部の光が打ち消し合っているところ、位相シフタを瞳面 1 1 2 及び瞳面付近に適用することにより、異物からの散乱光強度を強めあうことが可能となる。その他、基板表面からの散乱光強度を抑制すべく、または基板表面からの散乱光強度を抑制しかつ異物からの散乱光強度を強めあうようにすべく、位相シフタを適用することができる。

30

【 0 0 9 8 】

ここで、図 2 3 を用いて、ラジアル偏光の光を例にとり、位相シフタの効果をより具体的に説明する。

散乱光シミュレーションの結果、図 2 1 ( b ) のラジアル偏光分布 7 7 5 に示されるように微小異物の散乱光がラジアル偏光に近いので、光軸に対して対称な方向では振動方向が対向し、重ね合わせによって強度低下が起こっている。その強度低下を抑制する目的で、ラジアル偏光に対して位相シフタの適用を行った。

【 0 0 9 9 】

図 2 3 ( a ) は、光学顕微鏡の瞳面 1 1 2 付近に照明の入射光軸を瞳面 1 1 2 上に対応させた軸 3 9 3 を含む基板に垂直な面もしくはそれに対応する瞳面 1 1 2 上の面を境として位相差  $\phi$  を作る位相シフタ 3 9 1 a を配置した場合のラジアル偏光の適用例である。図 2 3 ( b ) は、光学顕微鏡の瞳面 1 1 2 付近に照明の入射光軸を瞳面 1 1 2 上に対応させた軸 3 9 3 を境として図 2 3 上の上下の領域に位相差  $\phi$  を作る位相シフタ 3 9 1 b を配置した場合のラジアル偏光の適用例である。図 2 3 ( a ) では、あるラジアル偏光 3 9 2 a と 3 9 2 b の Y 方向の成分は打ち消しあい、あるラジアル偏光 3 9 2 a と 3 9 2 b の光を干渉させると Y 方向の散乱光強度はピークが低下することが考えられる。このラジアル偏光の散乱光に対し、光学顕微鏡の瞳面 1 1 2 付近に照明の入射光軸を瞳面 1 1 2 上に対応させた軸 3 9 3 を境として図 2 3 上の上下の領域に位相差  $\phi$  を作る位相シフタを配置した場合、3 9 2 c と 3 9 2 d の状態になり、3 9 2 c と 3 9 2 d の Y 方向の成分は強め合い、ピークを増加することができる。

40

50

## 【0100】

図23(b)では、あるラジアル偏光392eと392fのX方向の成分は打ち消しあい、あるラジアル偏光392eと392fの光を干渉させるとX方向の散乱光強度はピークが低下することが考えられる。これに、光学顕微鏡の瞳面112付近に照明の入射光軸を瞳面112上に対応させた軸393に直交する軸398を境として図23上の左右の領域に位相差を作る位相シフトを配置した場合、392gと392hの状態になり、392gと392hのX方向の成分は強め合い、干渉させたときに、ピークを増加することができる。

## 【0101】

次に、基板表面からの散乱光を抑制する効果のある分布偏光子の例について説明する。

図21で示したように、異物からの散乱光と基板表面からの散乱光は偏光方向が異なる。この偏光の違いを利用し、散乱光シミュレーションもしくは実測値を用いて基板表面からの散乱光を抑制しかつ異物からの散乱光低下が少なくなるように透過偏光軸方向を領域ごとに適宜選択した分布偏光子を瞳面112上もしくは瞳面112付近に適用することで、異物からの散乱光に対する基板表面からの散乱光の比を大きくすることができ、高S/Nの欠陥検出が可能となる。

## 【0102】

具体例として、図24に、瞳面112上もしくは瞳面112付近を分割し、それぞれの分割領域毎に図21で示した散乱光シミュレーションの結果より基板表面からの散乱光を抑制しかつ異物からの散乱光低下が少なくなるように透過偏光軸9001方向(図24中の斜線)を選択した分布偏光子742a・742b・744a・744bを示す。なお、ここで検討に使用した偏光方向は、ラジアル偏光、アジマス偏光、X偏光、Y偏光であるが、これに限られない。

## 【0103】

図24(a)は、瞳面112上もしくは瞳面112付近を半径方向に2分割、円周方向に4分割した741において、図21に示した散乱光シミュレーションの結果に基づき、微小異物からの散乱光に対する基板表面からの散乱光の比が大きくなる透過偏光軸9001方向を選択した分布偏光子742a・742bの例である。分布偏光子742aは、照明射出側の外周側の領域951でラジアル偏光を、それ以外の領域でY偏光を透過するように透過偏光軸9001を選択したものであり、分布偏光子742bは、照明射出側の外周側の領域951で±/4傾いた直線偏光を、それ以外の領域でY偏光を透過するように透過偏光軸9001を選択したものである。

## 【0104】

また、図24(b)は、瞳面112上もしくは瞳面112付近を円周方向に8分割した743において、図21で示した散乱光シミュレーションの結果に基づき、微小異物からの散乱光に対する基板表面からの散乱光の比が大きくなる透過偏光軸9001方向を選択した分布偏光子744a・744bの例である。分布偏光子744aは、分割領域952a・952bでラジアル偏光を、それ以外の領域でY偏光を透過するように透過偏光軸9001を選択したものであり、分布偏光子744bは、分割領域952a・952bで±/4傾いた直線偏光を、それ以外の領域でY偏光を透過するように透過偏光軸9001を選択したものである。

## 【0105】

上記に示した分布偏光子742a・742b・744a・744bはいずれも散乱光シミュレーション結果に基づき、基板表面からの散乱光が強い領域で散乱光を抑制しているため、高S/Nの欠陥検出が可能となる。なお、図24及び前述の図7の分布偏光子は、位相シフト391と組み合わせて用いてもよい。位相シフトを用いることで、分布偏光子を透過した散乱光を干渉させた際、重ね合わせによって起こる強度低下を抑制することができる。また、ここでは4分割又は8分割した例を示したが、これに限られるものではなく、散乱光分布に応じて適宜領域を適当数分割し、最適な分光偏光子を領域ごとに用いればよく、また円周方向の分割以外にも縦方向・横方向・格子状等に適宜分割しても構わな

10

20

30

40

50

い。さらに、上記で示した 2 種の分布偏光子の利用に限らず、3 種以上を用いて構成しても構わない。

【0106】

次に、基板表面からの散乱光の偏光方向および異物からの散乱光の偏光方向を制御し、基板表面からの散乱光の抑制し、異物からの散乱光の強度低下を抑制しうる波長板について説明する。波長板を用いることで、散乱光の偏光方向を制御し、偏光方向を揃えることで分布偏光子を単純化することもできる。

【0107】

図 2 5 は、波長板を用いた一例として、光学顕微鏡の瞳面 1 1 2 付近に分布 1 / 2 波長板 3 3 1 と分布 1 / 4 波長板 3 3 2 を適用したものである。ここで、分布 1 / 2 波長板 3 3 1 と分布 1 / 4 波長板 3 3 2 とは、この組み合わせに限られず、そのどちらか一方を用いても良いし、それぞれの配置を適宜換えてもよい。さらに、これらと位相シフタ 3 9 1 と組み合わせ用いても構わない。

10

【0108】

次に、ラジアル偏光を例に分布波長板を用いた場合の効果について説明する。

図 2 6 は、瞳面 1 1 2 付近に波長板を適用した場合の偏光の変化を説明する図である。波長板によって電場のベクトルを制御することにより、基板散乱光を抑制し、検出したい異物散乱光を強めあうことにより、基板散乱光強度に対する異物の散乱光強度の比を大きくすることができる。

【0109】

20

具体例として、図 2 6 ( a ) は任意の瞳面 1 1 2 上の偏光 3 3 3 a の楕円偏光に対する 1 / 4 波長板 3 3 2 の適用例である。1 / 4 波長板 3 4 0 a を X 軸に対して角度 3 3 8 傾いた楕円偏光 3 4 2 a の長軸に進相軸 3 9 5 かつ楕円偏光 3 4 2 a の短軸に遅相軸 3 9 4 が一致するように、波長板を角度 3 3 8 傾けて 1 / 4 波長板を配置 3 3 5 a することで、楕円偏光 3 4 2 a を直線偏光 3 4 2 b にすることができる。楕円偏光から変換した直線偏光を分布偏光子によって選択的に透過させることで、分布偏光子による異物からの散乱光量の低下を抑制することができる。

【0110】

図 2 6 ( b ) は、瞳面 1 1 2 上のラジアル偏光 3 3 4 a に対する 1 / 2 波長板 3 3 1 の適用例である。微小異物からの散乱光 7 7 5 はラジアル偏光に近いので、照明の入射光軸を瞳面 1 1 2 上に対応させた軸 3 9 3 に対して対称な方向では、電場ベクトルの振動方向が対向し、重ね合わせによって強度低下が起こりうる。この強度低下を抑制するため 1 / 2 波長板 3 3 2 を適用した一例が図 2 6 ( b ) であり、照明の入射光軸を瞳面 1 1 2 上に対応させた軸 3 9 3 に対して角度 3 3 7 傾いた電場ベクトル 3 4 2 c に対して、3 4 1 a の状態の 1 / 2 波長板 3 3 2 を、X 軸に対して角度 3 3 7 の 1 / 2 の角度 3 3 9 進相軸を傾けた 1 / 2 波長板 3 4 1 b を配置することで、照明の入射光軸を瞳面 1 1 2 上に対応させた軸 3 9 3 と平行な電場ベクトル 3 4 2 d にすることができる。このように、瞳面 1 1 2 もしくは瞳面 1 1 2 付近に分布波長板 3 3 2 a を配置することで、照明の入射光軸を瞳面 1 1 2 上に対応させた軸 3 9 3 に対して対称な方向での電場ベクトルの振動方向が平行になり、重ね合わせによる散乱光のピーク強度を増加させることができる。

30

40

【0111】

次に、図 2 5 の 1 / 2 波長板 3 3 1、1 / 4 波長板 3 3 2 の代わりに液晶を用いた偏光方向制御装置 6 6 5 を配置した例について図 2 7、図 2 8 を用いて説明する。液晶を用い、印加する電圧の制御もしくは配向膜に施すラビングの方向を制御することによって、水晶の結晶を用いる 1 / 2 波長板 3 3 1 や 1 / 4 波長板 3 3 2 では実現不可能な緻密な偏光方向の制御が可能となる。

【0112】

図 2 8 は、偏光方向制御による電場ベクトルの変化を説明する図であり、任意の点 7 9 0 における任意の時間の電場ベクトル 7 6 0 を偏光方向制御装置 6 6 5 を用いて電場ベクトル 7 7 0 にする。ここで、電場ベクトル 7 6 0 と電場ベクトル 7 7 0 の角度差 7 8 0 を

50

旋光角 780 とする。

【0113】

図 27 (a) は、最外層 661a・661b に挟まれた液晶 663、配向膜 662・666、電極 664a・664b を適宜用いて構成される偏光方向制御装置 665a を用いた光学顕微鏡の一例を示すものであり、電極 664a・664b 間に電圧を印加することによって液晶 663 中の液晶分子の並びを制御し、偏光方向の制御を行うものである。

【0114】

ここで、液晶とは、液体と結晶の中間の状態であり、液体の流動性と結晶の異方性を併せ持った結晶であって、液晶にはキラリティを持つ旋光性のある液晶とキラリティの無い旋光性の無い液晶がある。

キラリティを持つ液晶の場合、図 28 (b) に例示するように基板に接している液晶分子 531a は、532 のように垂直方向に液晶分子が旋回して並んでいる。回転の方向は、液晶のキラリティによって決まる。この液晶 535a に光を透過させると、液晶分子の並び 532 に従って光の偏光方向が旋回し、偏光状態を変えることができる。

【0115】

このキラリティを持つ液晶に電圧を印加すると、水平に並んでいた液晶分子が垂直に立ち上がり 531b のようになり、液晶分子が立ち上がるにつれて旋光性が失われ、液晶 535b には旋光性は無い。この液晶分子の立ち上がりの角度を印加電圧の大きさによって制御することで偏光方向を変えることができる。

【0116】

また、配向膜に対して平行な状態から配向膜に対して垂直な状態の中間に液晶分子がある場合、液晶を通過した散乱光が、直線偏光ではなく、楕円偏光になりうる場合は 1/4 波長板と組み合わせることによって、液晶によって楕円偏光になった光を直線偏光にしてもよい。また、明視野観察時など旋光性が不要な時、電圧の印加または不印加によって、旋光性の ON もしくは OFF を容易に選択できる。

【0117】

図 27 (b) は、配向膜 662・666 のどちらか一方もしくは、両方のラビングの方向によって、液晶 663 中の液晶分子の並びを制御し、偏光方向の制御を行う液晶を用いた偏光方向制御装置 665b を使用した光学顕微鏡の一例を示す図である。ラビング方向を選択することで、緻密に得たい偏光状態を実現できる分布波長板を作成することができる。ここで、ラビング方向は、ローラにまきつけた布で配向膜をこするラビング処理の方向方向であり、ラビング方向並行に液晶分子は配列する特性を持つ。

【0118】

次に、電極を用いて旋光角を制御可能なキラリティのある液晶を用いた偏光方向制御装置の液晶 663 を図 29 に示す。液晶に電圧を印加する電極を複数個使い、液晶のそれぞれの場所で、得たい偏光にあわせ印加する電圧を制御する。図 29 (a) および (b) は、旋光性 396 をもつ分割をしない単体の液晶 663a を用いた一例である。液晶 663 を分割しない場合は、 $2\pi$  から 0 もしくは 0 から  $-2\pi$  の範囲の旋光角 780 が得られるよう液晶 663 の厚みを決める。

【0119】

液晶に印加する電圧の一例は、微小異物からの散乱光 775 はラジアル偏光に近いので、照明の入射光軸を瞳面 112 上に対応させた軸 393 に対して対称な方向では、電場ベクトルの振動方向が対向し、重ね合わせによって強度低下が起こりうるので、電場ベクトルの向きを合わせる事によって異物からの散乱光のピーク強度低下を抑制するような偏光方向が得られるように電極ごとに異なる電圧を印加する。もしくは、試料表面の散乱光を弱めあうような偏光方向が得られるようにそれぞれの電極の電圧を制御する。これによって、異物からの散乱光のピーク強度に対する試料表面の散乱光のピーク強度比を大きくすることができる。

【0120】

また、液晶 663 をいくつかに分割し、その 1 つの分割された液晶ごとに電圧を印加し

10

20

30

40

50

、液晶中の液晶分子の向きを制御し、旋光方向を制御することができる。図29(c)は、液晶を角度で2分割した例を示す。図29(c)の2分割された液晶663b、663cの旋光制御可能角度の範囲はそれぞれから0と0から-でよい。図29(d)は液晶663を角度で4分割した例である。分割数に応じて、液晶663の旋光制御可能角度の最大値と組み合わせを決定する。分割することにより、分割された領域ごとに制御できるため、全体としてより緻密な旋光角度の制御が可能となる。なお、分割数・分割方法はこれに限られず、適宜設定可能である。

#### 【0121】

また、液晶663は、単層に限られるものではなく、複数層に重ねて用いても良い。複数層重ねる際は各層毎に電圧を印加しても良いし、複数層一緒に電圧を印加しても構わない。図29(e)、(f)、(g)は、角度で2分割し、かつ2層に重ねた液晶を用いた場合を示す一例である。図29(e)は分割方法を示す。図29(e)は上層の液晶を、図29(f)は下層の液晶をそれぞれ示す。上層の液晶663i、663hはプラス方向の旋光性396dをもった液晶を用い、下層の液晶663k、663jはマイナス方向の旋光性396eをもった液晶を用いた例である。上層、下層ともに照明の入射光軸を瞳面112上に対応させた軸393に対して2分割し、液晶663i、663h、663k、663j毎に異なる電圧印加ができる。例えば、照明の入射光軸を瞳面112上に対応させた軸393に対して図29(c)中の上側でプラス方向の旋光性を、かつ照明の入射光軸を瞳面112上に対応させた軸393に対して図29(c)中の下側でマイナス方向の旋光性を得たい場合には、液晶663i、663jに電圧を印加し、液晶663h、663kは電圧を印加しなければよい。液晶を複数層に重ねることによって、より緻密な旋光角度の制御が可能となる。

#### 【0122】

ここで、図27(a)の偏光制御装置の液晶663は旋光性を持つ液晶を用いるため、図27(a)の偏光制御装置の配向膜662・666は、共にラビング無しの配向膜を用いるか、もしくはどちらか一方にラビング無しの配向膜を用いる。

#### 【0123】

旋光性396をもたない液晶であって1/4波長板の機能を持つよう厚みを調整した液晶を用いた偏光制御装置を用いて、ラジアル偏光をX偏光に変換する場合の一例を図30に示す。微小な異物の散乱光がラジアル偏光に近いので、照明の入射光軸を瞳面112上に対応させた軸393に対して対称な方向では電場の振動方向が対向し、重ねあわせによって強度低下が起こり、それを抑制するために旋光性396をもたない液晶を用いる。

#### 【0124】

この偏光制御装置の場合、液晶663mに電圧を印加しないときは、ラジアル偏光からX偏光に旋光方向を変えることができる一方、電圧を印加すると、旋光方向を制御することができ、ある閾値を超えると旋光性が失われる。ここでは、下部の配向膜666bに得たい旋光角が得られるようにラビングを施し、上部の配向膜662bはラビングを施さないようにして用いる。

#### 【0125】

次に、液晶への電圧の印加のない、かつ配向膜へのラビング方向を得たい旋光角に選択された、液晶を用いた偏光制御装置について図31を例にとって説明する。キラリティの無い液晶は、上部の配向膜662、下部の配向膜666のラビング方向に沿うように液晶分子が並ぶ。下部の配向膜のラビング方向と上部の配向膜のラビング方向が/2異なる場合の液晶分子の並び方を図31(a)に示す。配向膜に沿って、液晶分子が並び、図31(a)の配向膜配置の場合、/2の旋光角が得られる。

#### 【0126】

従って、上部の配向膜662のラビング方向と下部の配向膜666ラビング方向を選択することによる偏光制御装置は、分布1/2波長板の実現よりも緻密な偏光制御装置が実現できる。

#### 【0127】

10

20

30

40

50

図31は、配向膜662a・666cのラビング方向を得たい偏光方向に合わせ施した偏光方向制御装置の一例を示す図である。図31(b)に示すラジアル偏光をX偏光(図31(g))およびY偏光(図31(h))に変換する場合の配向膜のラビング方向を図31(c)と(d)、および図31(e)と(f)に示している。図31(c)を用い、ラビング方向による偏光方向の制御について説明する。微小な異物の散乱光がラジアル偏光に近いので、照明の入射光軸を瞳面112上に対応させた軸393に対して対称な方向では電場の振動方向が対向し、重ねあわせによって強度低下が起こり、それを抑制するために旋光性396をもたない液晶を用いた偏光制御装置の一例を示す。

【0128】

瞳面112上もしくは瞳面112付近における任意の点において配向膜662a、662bのラビング方向の傾きの差を得たい旋光角と等しくなるように配向膜662a、662bのラビング方向を決定する。

点1601aにおける任意の時間の電場ベクトル342cを偏光方向制御装置665bを用いて電場ベクトル342eにする。点1601では、配向膜662a、662bの間のラビング方向の角度差は $\theta/4$ である。そのため、電場ベクトル342cは $\theta/4$ 偏光方向が変わり、X偏光の直線偏光342eが得られる。

【0129】

次に、磁気光学効果を利用した偏光制御装置について説明する。

図32は、図25の1/2波長板331、1/4波長板332の代わりに磁気光学効果を利用した透明磁性体を用いた偏光方向制御装置を配置した例を示す。本例では、透明基板667・669に挟まれた透明磁性体668の磁化方向を制御することにより、ファラデー回転を用いて偏光方向を制御する。

【0130】

さらに、図33は、照明の入射光軸を瞳面112上に対応させた軸393に対して対称に分割した透明磁性体を用いた例を示す。照明の入射光軸を瞳面112上に対応させた軸393に対して対称に配置された透明磁性体668a・668bを対称の方向に磁化させることによって、照明の入射光軸を瞳面112上に対応させた軸393に対して、対称な旋光角 $\theta/2$ を得ることができる。照明の入射光軸を瞳面112上に対応させた軸393に対して対称な方向での電場ベクトルの振動方向が対向し、散乱光を重ね合わせたとき欠陥の散乱光のY偏光の強度低下が起こるが、磁気光学効果を利用した偏光方向制御装置によって電場ベクトルの方向を一方向にそろえるように磁化方向を選択することで、散乱光のピーク強度の低下を抑制することができる。なお、磁化の方向は、瞳面112に対して平行でなくてもよい。また、透明磁性体の分割数は、単数でも複数でもよい。さらに透明磁性体の層数は単層に限られず、複数層を重ねて用いても構わない。

【0131】

また、磁化方向は、外部磁場の印加、もしくは圧電アクチュエータなどにより結晶に応力を印加、もしくは電場の印加、もしくは外部磁場の印加かつ圧電アクチュエータなどにより結晶に応力を印加することによって制御する。なお、明視野観察時など旋光性が不要な時は、応力を不印加もしくは、電場の不印加、もしくは外部磁場の不印加により、旋光性を容易に除去できる。

【0132】

ここで、前述の空間フィルタとしては、散乱光シミュレーションもしくは実測によって異物散乱光量と基板表面散乱光量の比を導出し、その比があるしきい値より大きい領域の光を透過し、異物散乱光と基板表面散乱光の比がある閾値より小さい領域を遮光した偏光子と遮光板との組み合わせによる分布フィルタを用いてもよい。異物散乱光と基板表面散乱光の比が小さい領域を取り除くことによって、瞳面112全体での異物散乱光量と基板表面散乱光量の比を大きくすることができる。

【0133】

図34に、偏光子と遮光板の組み合わせによる分布フィルタの例を示す。

ここでは、ラジアル偏光、アジマス偏光、X偏光、Y偏光のそれぞれにおいて異物散乱

10

20

30

40

50

光量と基板表面散乱光量の比を導出し、任意の比があるしきい値より大きい領域の光を透過し、異物散乱光と基板表面散乱光の比が任意の閾値より小さい領域を遮光した偏光子と遮光板との組み合わせを検討した。また、X偏光かつY偏光の両方において異物散乱光量と基板表面散乱光量の比が任意の閾値より大きい場合は偏光子と遮光板は無しとした。

【0134】

図21を得るのに使用した散乱光シミュレーションの結果より得られた分布空間フィルタ881aは、偏光子及び遮光板の無い領域886a・886bと遮光板885a・885bとX偏光に対して $\theta/2$ 傾いた透過偏光軸を持つ偏光子887a、X偏光に対して $\theta/2$ 傾いた透過偏光軸を持つ偏光子887bとX偏光を透過する透過偏光子をもつ偏光子888a・888bの組み合わせによる。

10

【0135】

また、他の分布空間フィルタである分布フィルタ881bは、図21を得るのに使用した散乱光シミュレーションの結果より、ラジアル偏光において異物散乱光量と基板表面散乱光量の比を導出し、任意の比があるしきい値より大きい領域の光を透過し、異物散乱光と基板表面散乱光の比が任意の閾値より小さい領域を遮光した偏光子と遮光板との組み合わせを検討した結果得られた分布フィルタの一例であり、遮光板885c・885dとX偏光に対して $\theta/2$ 傾いた透過偏光軸を持つ偏光子887c、X偏光に対して $\theta/2$ 傾いた透過偏光軸を持つ偏光子887dの組み合わせによる。

ここで、X偏光に対して $\theta/2$ 傾いた透過偏光軸を持つ偏光子887a、887cとX偏光に対して $\theta/2$ 傾いた透過偏光軸を持つ偏光子887b、887dは放射状(ラジアル方向)に透過偏光軸を持つ偏光子を使用する方が試料表面からの散乱光量に対する欠陥からの散乱光量の比がよりよくなる。

20

【0136】

分布フィルタ881cは、図21を得るのに使用した散乱光シミュレーションの結果より、X偏光において異物散乱光量と基板表面散乱光量の比を導出し、任意の比があるしきい値より大きい領域の光を透過し、異物散乱光と基板表面散乱光の比が任意の閾値より小さい領域を遮光した偏光子と遮光板との組み合わせを検討した結果得られた分布フィルタの一例であり、遮光板885eとX偏光を透過する透過偏光子をもつ偏光子888cの組み合わせによる。

【0137】

分布フィルタ881dは、図21を得るのに使用した散乱光シミュレーションの結果より、Y偏光において異物散乱光量と基板表面散乱光量の比を導出し、任意の比があるしきい値より大きい領域の光を透過し、異物散乱光と基板表面散乱光の比が任意の閾値より小さい領域を遮光した偏光子と遮光板との組み合わせを検討した結果得られた分布フィルタの一例であり、遮光板885fとY偏光を透過する透過偏光子をもつ偏光子889a・889bの組み合わせによる。なお、上記した偏光子と遮光板との組み合わせはこれらに限られるものではなく、散乱光分布に応じて適宜選択可能である。

30

【0138】

図21を得るのに使用した散乱光シミュレーションの結果より、アジマス偏光において異物散乱光量と基板表面散乱光量の比を導出し、任意の比があるしきい値より大きい領域の光を透過し、異物散乱光と基板表面散乱光の比が任意の閾値より小さい領域を遮光した偏光子と遮光板との組み合わせを検討した結果、閾値を超える瞳面112上の座標が存在しなかった。

40

【0139】

次に、瞳面112もしくは瞳面112を任意の領域に分割した偏光子と遮光板との組み合わせによる分布フィルタについて説明する。瞳面112もしくは瞳面112を任意の領域に分割することで、図34の分布フィルタよりも容易に実現可能がある。

【0140】

瞳面112もしくは瞳面112を任意の領域毎にラジアル偏光、アジマス偏光、X偏光、Y偏光のそれぞれにおいて散乱光シミュレーションもしくは実測によって異物散乱光量

50

と基板表面散乱光量の比を導出し、その比があるしきい値より大きい領域の光を透過し、異物散乱光と基板表面散乱光の比がある閾値より小さい領域を遮光した偏光子と遮光板との組み合わせによる分布フィルタの例を図35に示す。

【0141】

ここでは、ラジアル偏光、アジマス偏光、X偏光、Y偏光のそれぞれにおいて異物散乱光量と基板表面散乱光量の比を導出し、任意の比があるしきい値より大きい領域の光を透過し、異物散乱光と基板表面散乱光の比が任意の閾値より小さい領域を遮光した偏光子と遮光板との組み合わせを検討した。また、X偏光かつY偏光の両方において異物散乱光量と基板表面散乱光量の比が任意の閾値より大きい場合は偏光子と遮光板は無しとした。

【0142】

分布フィルタ890a・890bは瞳面112を半径方向に8分割し、分割した8領域毎にラジアル偏光、アジマス偏光、X偏光、Y偏光のそれぞれ偏光子と遮光版とを適宜組み合わせた例である。また、分布フィルタ890c、890d、890e、890fは瞳面112を半径方向に8分割し、円周方向に2分割し、分割した16領域毎にラジアル偏光、アジマス偏光、X偏光、Y偏光のそれぞれ偏光子と遮光板とを適宜組み合わせた例である。

【0143】

ここで、分布フィルタは、波長板により偏光方向を制御し、偏光子により偏光の選択を行ってもよい。波長板と偏光子を組み合わせることにより、異物からの散乱光量と基板表面からの散乱光量の比を大きくする目的で使用する偏光子の透過偏光軸方向を単純にすることができる。例えば、分布フィルタ890aのラジアル偏光の光を透過する領域887e・887fに、電場の振動方向をラジアル偏光からY偏光に変換するように分布1/2波長板を入れることにより、1/2波長板とY偏光の偏光子と遮光板の組み合わせによる分布フィルタを用いても良い。

【0144】

また、分布フィルタの1/2波長板の代わりに、前述した液晶を用いた偏光方向制御装置、もしくは磁気光学効果を利用した透明磁性体による偏光方向制御装置を用いてもよい。この場合、1/2波長板よりも緻密な偏光方向の制御が可能となる。また、旋光性のONもしくはOFFを容易に選択できる。さらに、波長板と偏光子と遮光板の組み合わせによる分布フィルタに位相シフトを組み合わせて用いても構わない。位相シフトを分布フィルタに組み合わせることで、分布フィルタを透過した散乱光を干渉させた際、重ね合わせによって起こる強度低下を抑制、かつ重ね合わせによりピーク強度を増加させることができる。もしくは、位相シフトもしくは偏光子もしくは遮光板もしくは波長板もしくはその組み合わせの機能を持ったフォトニック結晶を分布フィルタとしてもちいても良い。フォトニック結晶を用いることで、緻密な偏光選択性と偏光方向制御機能をもった分布フィルタが実現できる。

【0145】

検出したい異物サイズが小さくなる、もしくは空間フィルタ114を用いることで、もしくはその両方で異物からの散乱光強度が低下するため、微細な異物からの微弱な散乱光強度を倍増する、もしくはセンサ111起因のノイズを抑制するために、高感度のセンサ111を用いてもよい。高感度のセンサ111を用いることで、センサ起因のノイズに対する欠陥からの散乱光の比を大きくすることができる。例えば、高感度のセンサ111は、冷却CCDカメラ(Cooled CCD Camera)、ICCDカメラ(Intensified CCD Camera)、SITカメラ(Silicon Intensified CCD Camera)、EB-CCDカメラ(Electron Bombardment CCD Camera)、EM-CCDカメラ(Electron Multiplier CCD Camera)などが適宜用いればよい。

【0146】

以上説明した各種の分布フィルタは単体若しくは適宜組み合わせて使用可能であり、前述の各実施形態の検査装置について適用できるほか、後述する実施形態の検査装置にも適

10

20

30

40

50

宜用いることができる。

(第5の実施形態)

本発明にかかる第5の実施形態の欠陥観察装置について図36を用いて説明する。図36では、電子顕微鏡5等を省略し、欠陥検出装置のみ記載する。被検査物557の表面又は欠陥を検査する検査装置は、レーザ551とエキスパンダ552とアッテネータ553と偏光制御素子554とミラー555A・555Bとレンズ556とを適宜用いて構成される照明光学系と、Zステージ558及びXYステージ559とを有するステージと、被検査物高さ計測部560と、対物レンズ561と空間フィルタ562と結像レンズ563とセンサ564とを適宜用いて構成される検出光学系と、信号処理部565と、モニタ567とを適宜用いて構成される。さらに、ハーフミラー569とセンサ570を用いて構成され、検出光学系の状態を計測する検出系モニタリング部571、また、図示しないが、照明光学系の状態を計測する照明系モニタリング部と、後述する各稼働部を制御する制御部800と、を適宜用いて構成される。

10

20

30

40

50

【0147】

まず、照明光学系の構成について説明する。レーザ551は、被検査物の法線方向に対して角度を有す方向から照明光568を照射し、被検査物557の表面にスポットや線状等の所望のビームを形成する。エキスパンダ552は、照明光568を一定の倍率の平行光束に広げるものである。アッテネータ553は、エキスパンダ552通過後の照明光568の光量・強度を制御するための減衰器である。偏光制御素子554は、偏光板や波長板の回転、もしくは電圧のON・OFF制御によって液晶の分子の向きを変え、素子に入射する光の偏光方向を切り替え、偏光状態を制御する素子である。ミラー555A、555Bは偏光制御(電場の位相と振幅制御)後の照明光568を被検査物557に照射する際に、照射角度の調整を行うための反射鏡群である。ここでは2枚のミラーを用いた例を示したが、ミラーを用いずに構成してもよく、また1枚でも3枚以上用いて構成してもよい。レンズ556は、被検査物557に照射する直前に照射箇所を照明光568を収束させるためのレンズである。

【0148】

次に、検出光学系の構成について説明する。対物レンズ561は、レーザ551による照明光568の照射により被検査物557上の異物、欠陥、パターンから散乱、回折された光を、被検査物557の法線方向(上方)から集光する対物レンズである。ここで、この暗視野欠陥検査装置により検査される半導体装置などである被検査物557が繰り返しパターンを有する場合、該繰り返しパターンから発生する回折光は、対物レンズ561の射出瞳に規則的な間隔で集光する。空間フィルタ562は、瞳面112付近でこの繰り返しパターンの遮光を行うフィルタ、もしくは被検査物から反射した光の全部もしくは一部もしくは特定の偏光方向の光の偏光方向の制御と選択を行うフィルタである。結像レンズ563は、繰り返しパターン以外(たとえば障害発生箇所)からの散乱光、回折光であって空間フィルタ562を通過したものをセンサ564上に結像するためのレンズである。センサ564は結像レンズ563によって集光結像された像を電子情報として信号処理部565に送るための光センサである。光センサの種別としてはCCDやCMOSなどが一般的ではあるが、ここではその種別は問わない。

【0149】

信号処理部555は、センサ564より受け取った画像データをモニタ567で表示可能な状態に変換するための回路を有する。

【0150】

XYステージ559は被検査物557を載置するためのステージであり、XYステージ559を平面方向に移動することで、被検査物557を走査する。また、Zステージ558は、XYステージ559の検査基準面(被検査物557を載置する面)を垂直方向(Z方向)に移動させるためのステージである。

【0151】

被検査物高さ計測部560は、XYステージ559の検査基準面、及び被検査物557

の高さを測定するための計測器である。Zステージ558と被検査物高さ計測部560によって、焦点位置合わせを自動で行う、オートフォーカス機能を提供しうる。

【0152】

次に、本検査装置の全体の動作について説明する。

まず、レーザ551からの照明光568により、被検査物の法線方向に対して角度を有す方向から被検査物557の表面を照明し、被検査物557上に所望のビームを形成する。このビームにより被検査物557上の異物、欠陥、パターンから散乱、回折された光は、被検査物の上方で対物レンズ561により集光される。被検査物557が繰り返しパターンを有する場合には、該繰り返しパターンから発生する回折光は、対物レンズの射出瞳に規則的な間隔で集光するため、瞳面112上に置かれた空間フィルタ562により遮光される。一方、繰り返しパターン以外からの散乱光、回折光は空間フィルタ562を通過し、結像レンズ563へと導かれ、センサ564上に結像される。

10

【0153】

被検査物557はXYステージ559上に載置され、このXYステージ559により走査することにより、被検査物557からの散乱光の2次元画像を得る。このとき、被検査物557と対物レンズ561との距離は被検査物高さ計測部560により測定されZステージ558により調整される。

【0154】

センサ564により取得された2次元画像は、信号処理部565にて異物種、欠陥種ごとに分類され、異物や欠陥の大きさが求められ、その結果がモニタ567に表示される。

20

【0155】

ここで、パターン起因の散乱光を除外する目的で瞳面112付近に配置する空間フィルタ562の形状の例を図37に示す。図37に示す各空間フィルタの例は、瞳面112上もしくは瞳面112付近に配置され、黒部が遮光部分、開口部が光束透過部分を示す。ここでは、中央部に小さな開口を9個設けた例(562a)、中央部に大きな開口を設けた例(562b)、中央部に中程度の開口を設けた例(562c)及び小さな開口を2個設けた例(562d)を示したが、これに限られず、縦又は横縞に開口を設けてもよく、開口数や形状・大きさは適宜設定可能である。なお、瞳面112上の像は、被検査物の回折、散乱光の角度成分を表しているため、どの位置にどのくらいの開口を設けるかを決めることによって、被検査物の回折、散乱光の取捨選択を行うことが可能となる。また、空間フィルタ562と共に前述の各種分布フィルタ2222と適宜組み合わせ用いてもよく、空間フィルタ562の代わりに、これらの分布フィルタ2222を用いても構わない。

30

【0156】

次に、本発明の第5の実施形態にかかる制御部800について、図38を用いて説明する。図38は、制御部800の内部構成を示すブロック図であり、制御部800は、記録部801、比較部802、感度予測部803、フィードバック制御部804を適宜含んで構成される。

【0157】

記録部801は、モニタリングした照明系モニタリング部及び検出系モニタリング部571のデータの入力を受け、これらのデータを記録する。比較部802では、記録部801で記録したデータの入力を受け、データベース805内の理想値と比較する。なお、比較部802での処理前に、モニタリング時の光源や素子の特性を予め算出しておく。感度予測部803では、記録データと理想値の違いから現在の装置感度を推定・予測する。記録データと理想値とのずれが許容範囲内であれば、照明光学系や検出光学系などの各稼動部が制御され、検査を開始する。許容範囲外であれば、フィードバック制御部804が、感度予測部803が予測した予測感度に応じて装置の各稼動部にフィードバックをかける。

40

【0158】

ここで、データベース805は、比較部802が用いる理想値のデータベースであり、このデータベース805には、理論計算や光学シミュレーションなどによって、予め理想

50

値を入力しておく。このとき、光学シミュレータでは、被検査物をモデル化し、照明光学系の条件に依存して発生する被検査物からの散乱光強度などを導出し、検査器にて検出される光強度を計算する。このデータベース805の理想値のパラメータとしては、照明光学系の強度分布、偏光状態分布、結像レンズ563の焦点距離、センサ564の感度などの情報を含む。これらのパラメータは事前に特性を把握しておく必要がある。

【0159】

次に、図39のフローチャートを用いて、本発明の第5の実施形態にかかる暗視野欠陥検出装置におけるモニタリング処理手順を具体的に説明する。

まず、照明系モニタリング部が照明系の状態をモニタリングする(ステップS10)。また、検出系モニタリング部571が検出系の状態を計測する(ステップS11)。ステップS10及びステップS11で得られた計測結果は比較部802に送られる。これらの計測結果を、比較部802はデータベース805内の理想値と比較し、更に理想値と計測結果との「ずれ」から検出感度を予測する(ステップS12)。そして予測した検出感度が任意に設定した閾値に対して大きい小さいかの大小判定を行う(ステップS13)。

【0160】

予測感度が閾値以下の場合には、光学系の較正を行い(ステップS14)、再びステップS10に戻る。ここで要較正箇所が全て自動制御できるなら、全ての較正作業を自動で行えるようにしてもよい。このとき較正箇所は予め理論計算もしくは光学系シミュレーションにて決定しておけばよい。一方、予測感度が閾値以上の場合には、照明系及び検出系の検査を開始する(ステップS15)。

【0161】

以上、本発明者によってなされた発明を実施形態に基づき具体的に説明したが、本発明は上記実施形態に限定されるものではなく、その要旨を逸脱しない範囲で種々変更可能であることはいうまでもない。

【符号の説明】

【0162】

- 1・・・試料            2・・・試料ホルダ            3・・・ステージ            4・・・光学式高さ検出装置
- 5・・・電子顕微鏡            6・・・真空槽            7・・・光学式高さ検出装置
- 10・・・制御システム            11・・・ユーザーインターフェース            14・・・光学顕微鏡
- 101・・・暗視野照明ユニット            102・・・落射ミラー            104・・・ミラー
- 105・・・対物レンズ            106・・・高さ制御機構            108・・・ハーフミラー
- 109・・・明視野照明            110・・・結像光学系            111・・・固体撮像素子
- 113・・・レンズ群            114・・・分布偏光素子            116・・・結像レンズ
- 117・・・対物レンズ回転機構            118・・・液晶制御装置            111・・・偏光板
- 501・・・照明光源            502・・・光学フィルタ            503・・・波長板
- 507・・・レンズ群            751・・・光源            702・・・集光レンズ
- 704・・・投光レンズ            705・・・受光レンズ            706・・・検出器
- 401・・・フィルタ切り替え機構            402・・・ホルダ            405・・・分布偏光素子ホルダ
- 2222・・・分布フィルタ            391・・・位相シフタ
- 742、744・・・領域分割型分布偏光素子            331・・・分布1/2波長板
- 332・・・分布1/4波長板            665・・・液晶を用いた偏光方向制御装置
- 670・・・透明磁性体を用いた偏光方向制御装置

10

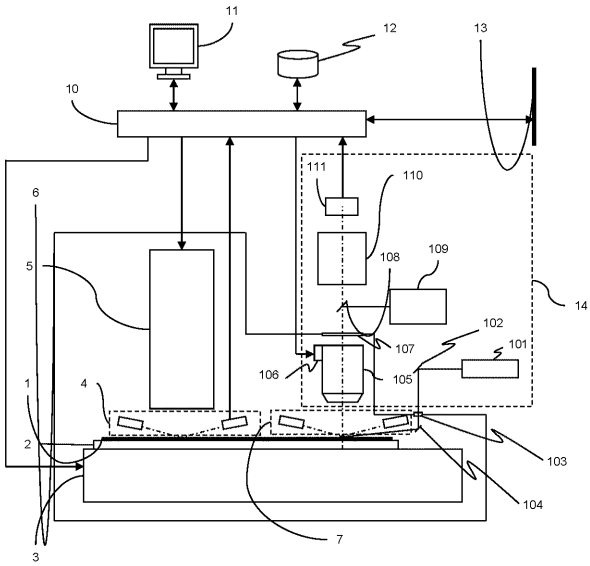
20

30

40

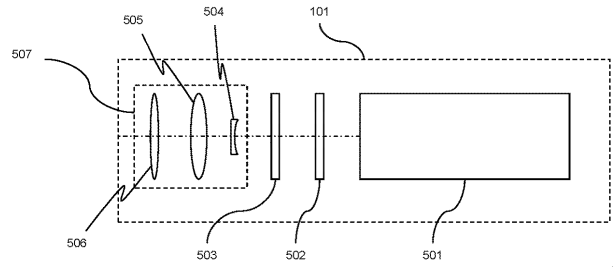
【 図 1 】

図1



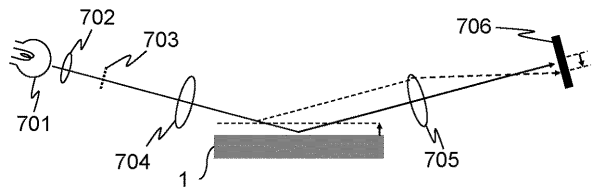
【 図 2 】

図2



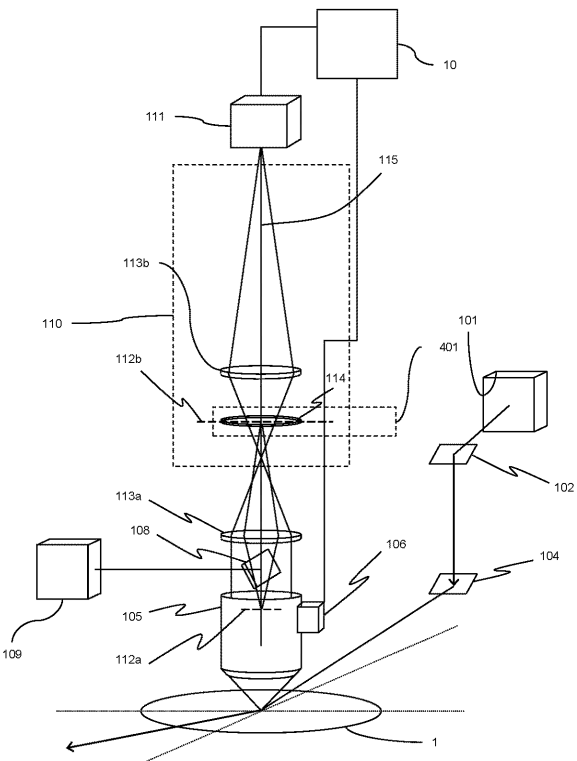
【 図 3 】

図3



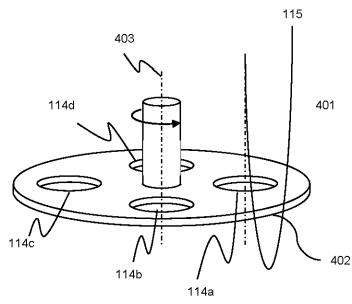
【 図 4 】

図4



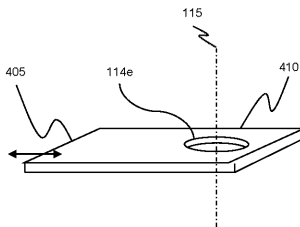
【 図 5 】

図5



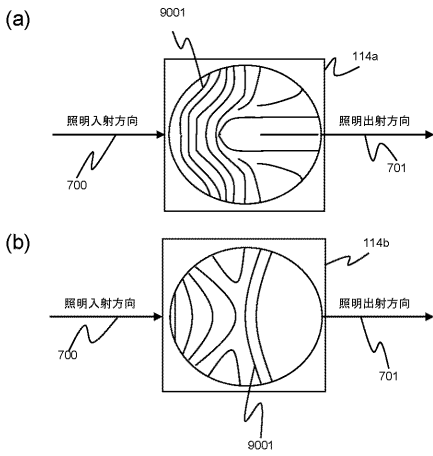
【 図 6 】

図6



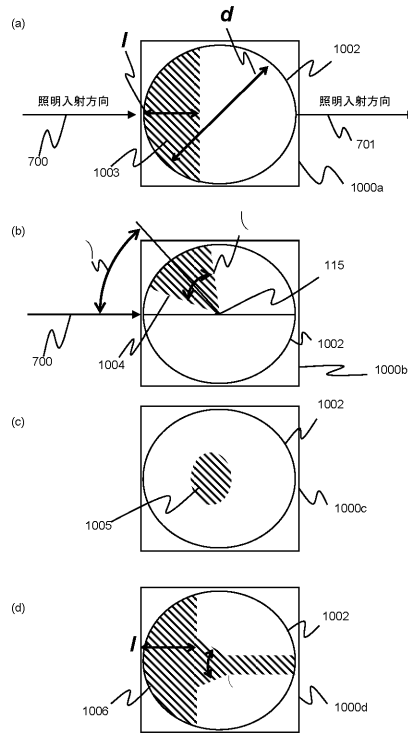
【 図 7 】

図7



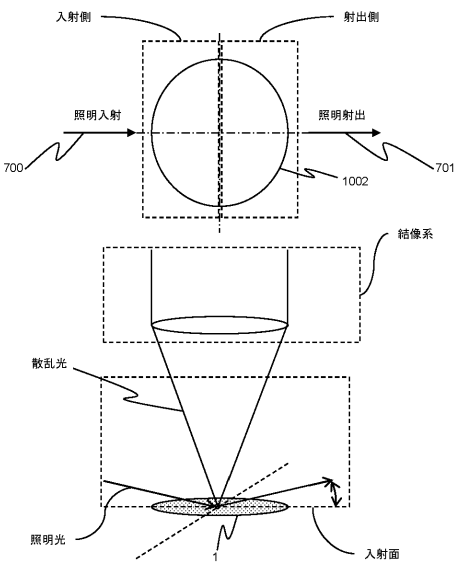
【 図 8 】

図8



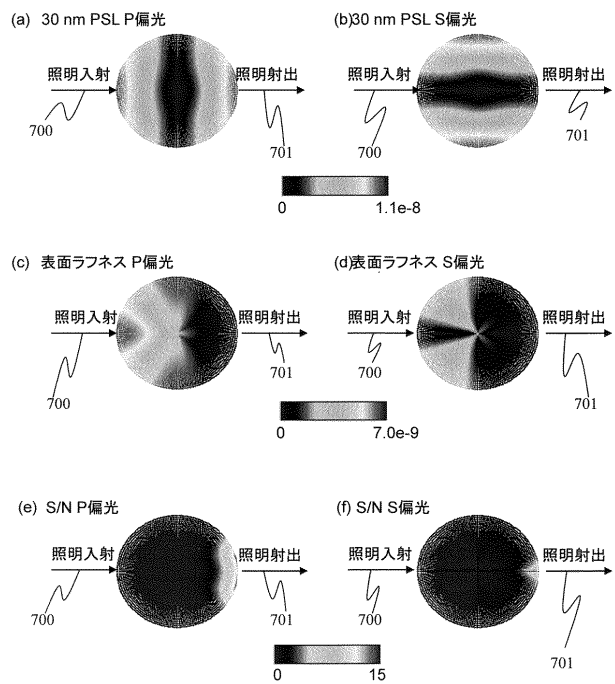
【 図 9 】

図9



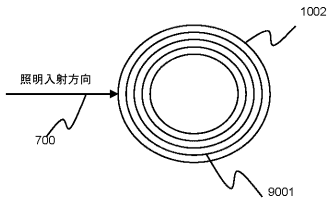
【 図 10 】

図10



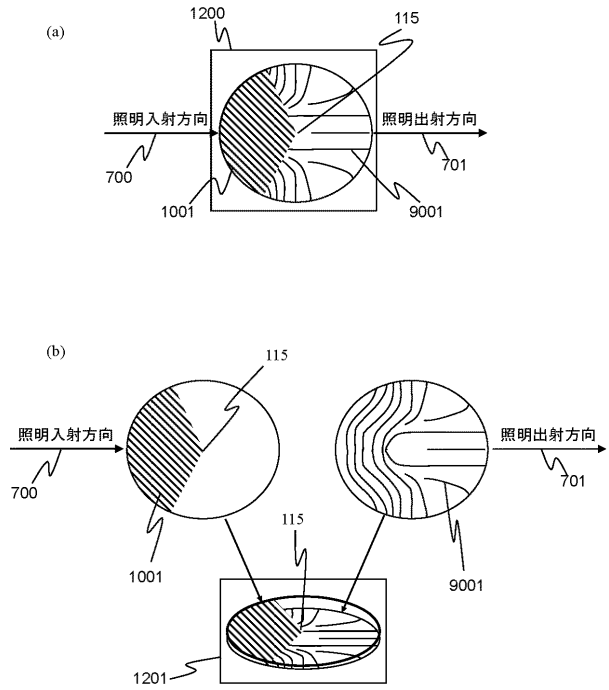
【 図 1 1 】

図11



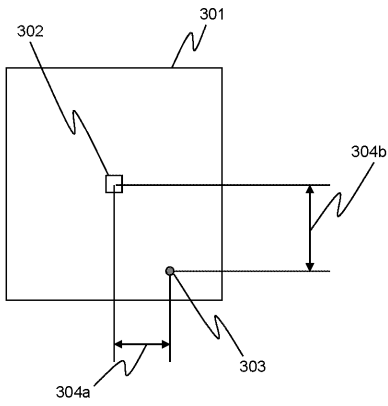
【 図 1 2 】

図12



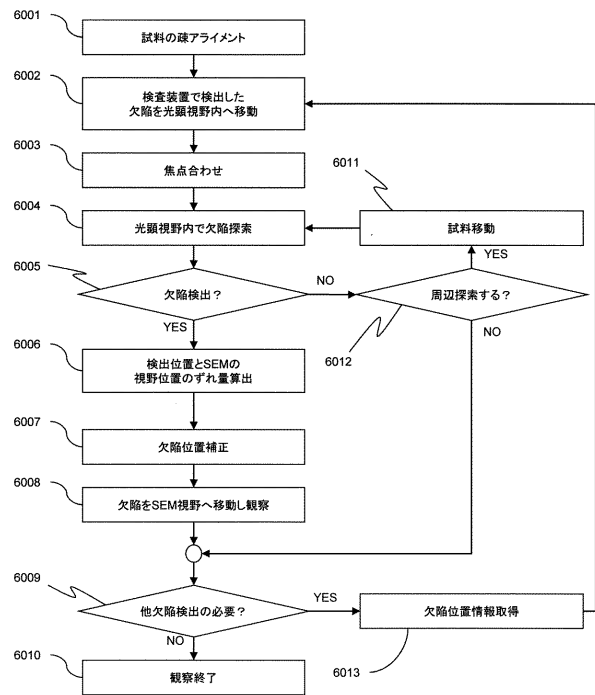
【 図 1 3 】

図13



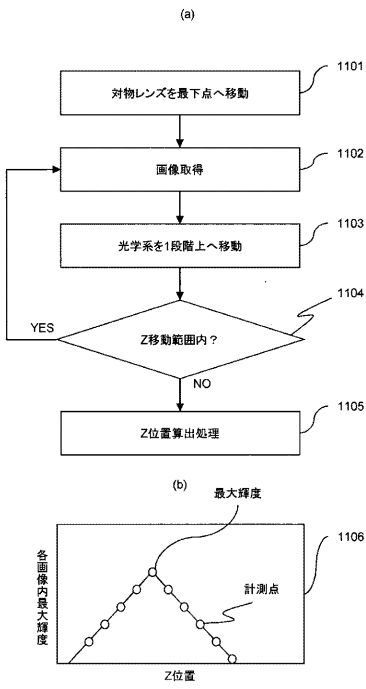
【 図 1 4 】

図14



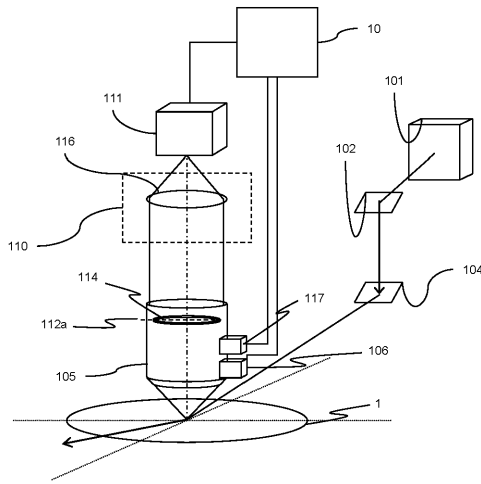
【 図 1 5 】

図15



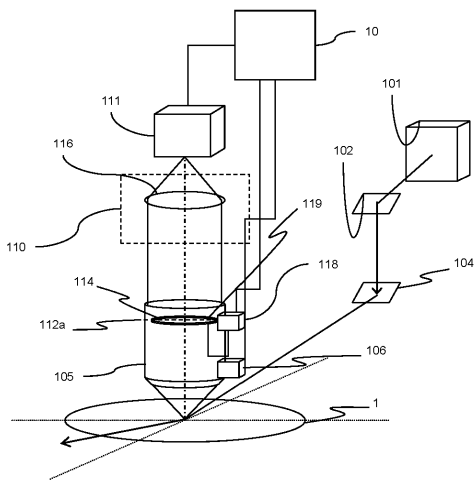
【 図 1 6 】

図16



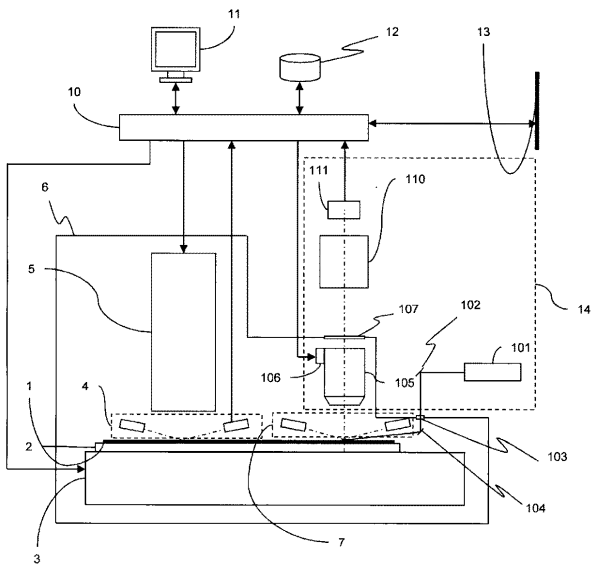
【 図 1 7 】

図17



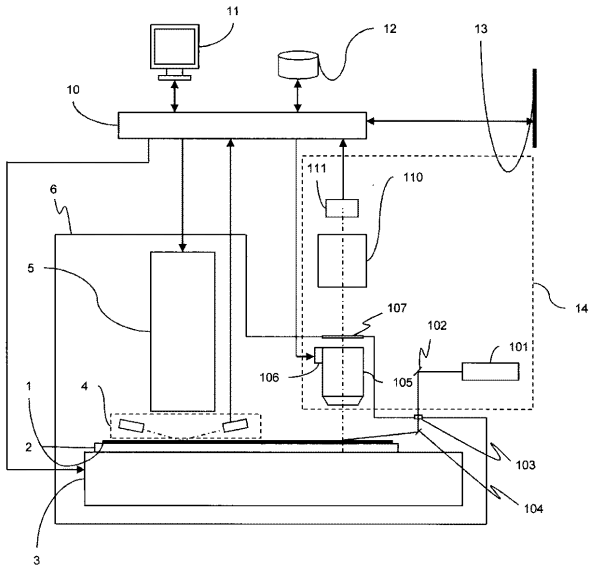
【 図 1 8 】

図18



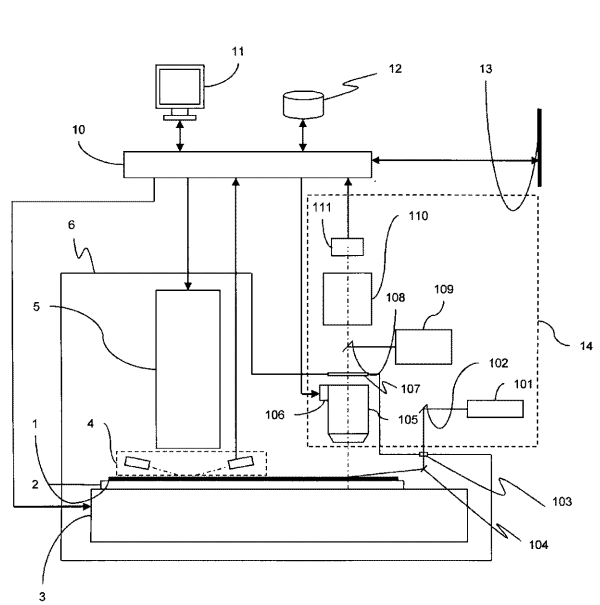
【 図 1 9 】

図19



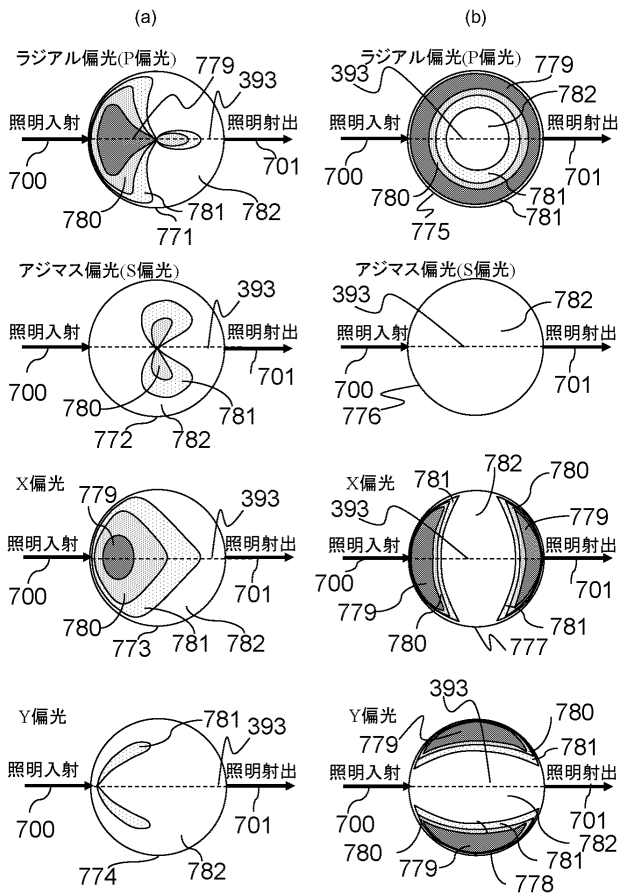
【 図 2 0 】

図20



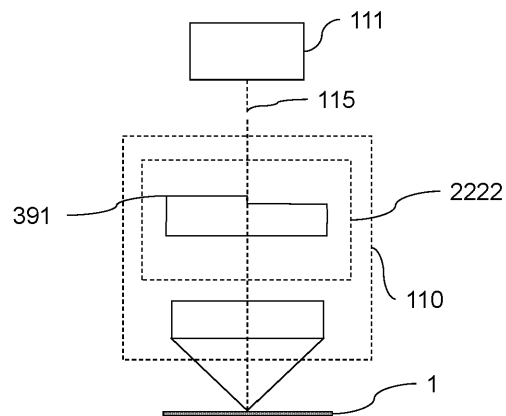
【 図 2 1 】

図21



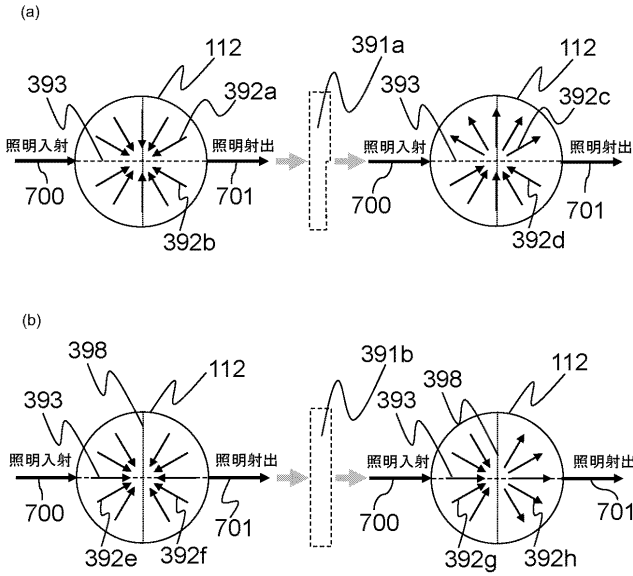
【 図 2 2 】

図22



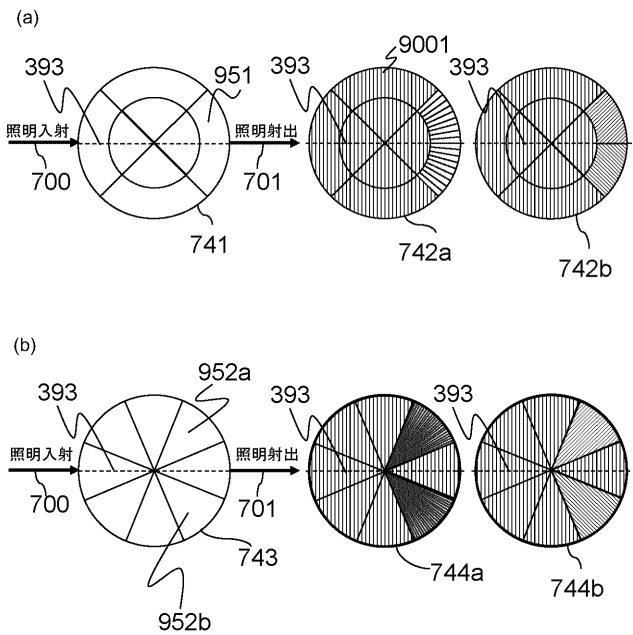
【 図 2 3 】

図23



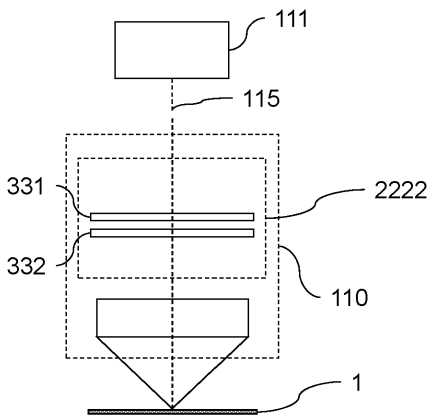
【 図 2 4 】

図24



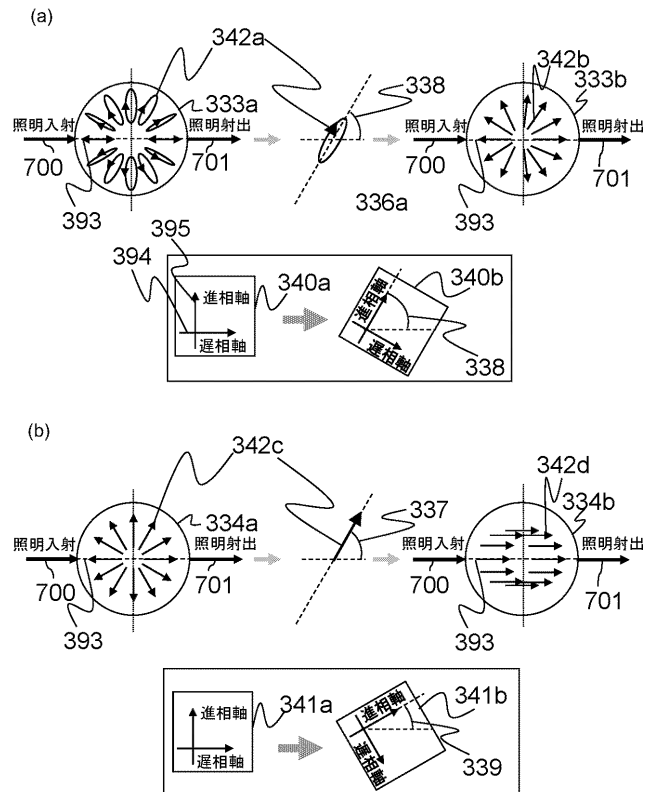
【 図 2 5 】

図25



【 図 2 6 】

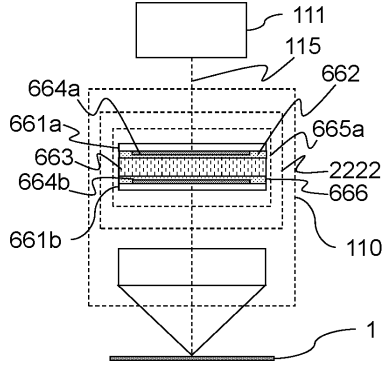
図26



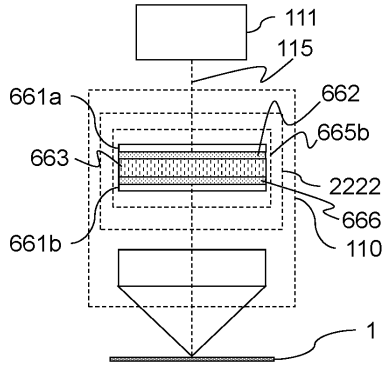
【 図 2 7 】

図27

(a)液晶を用いた電極印加機能のある偏光方向制御方法適応例

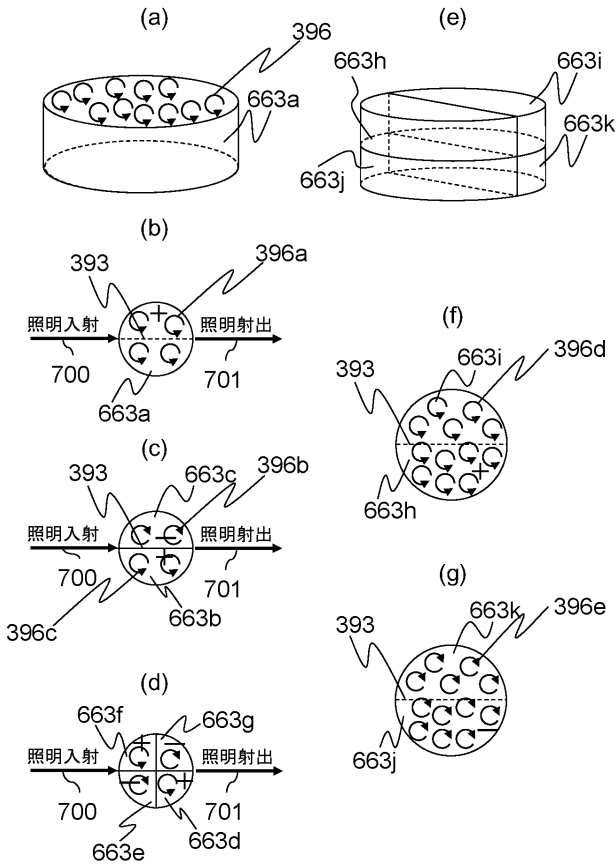


(b)液晶を用いた電極印加機能の無い偏光方向制御方法適応例



【 図 2 9 】

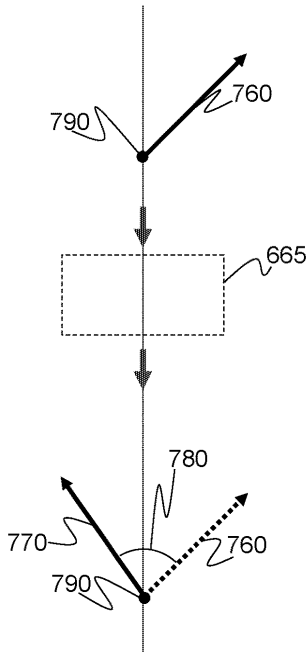
図29



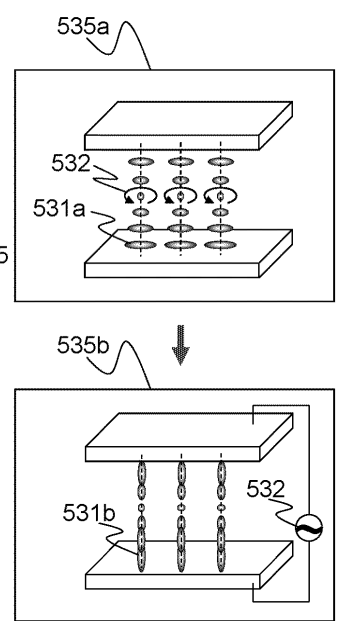
【 図 2 8 】

図28

(a)

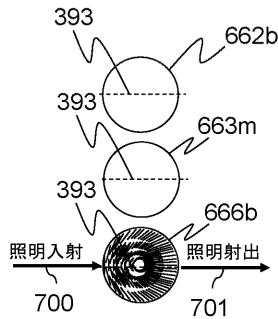


(b)



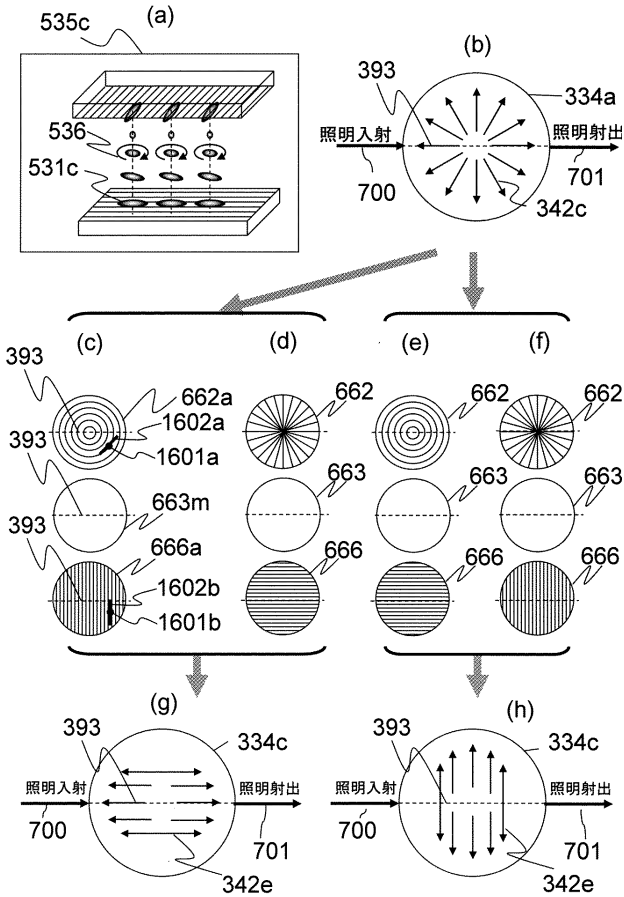
【 図 3 0 】

図30



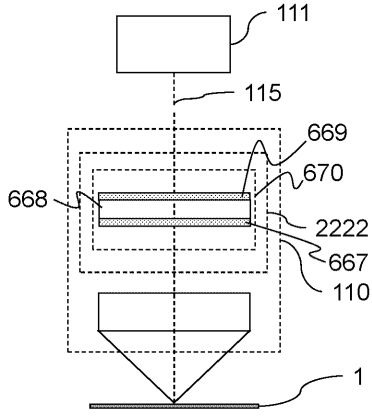
【 図 3 1 】

図31



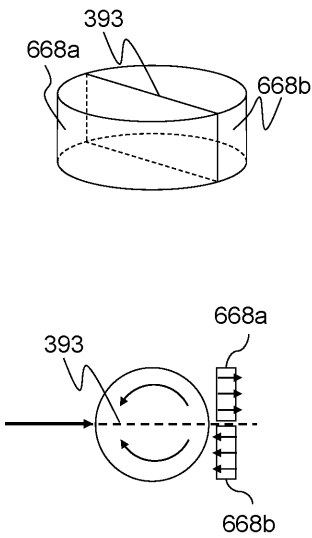
【 図 3 2 】

図32



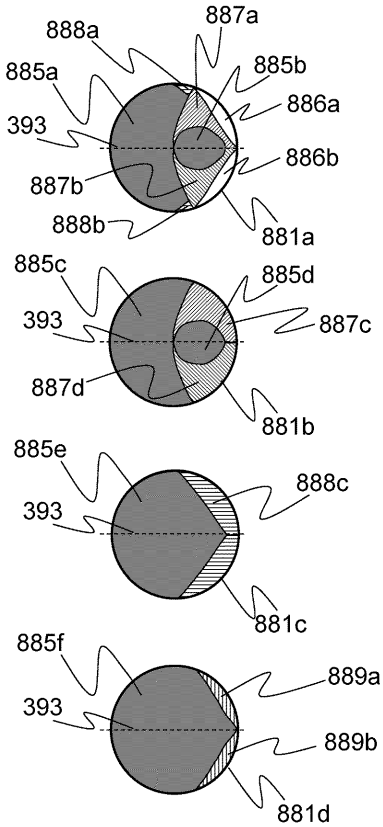
【 図 3 3 】

図33



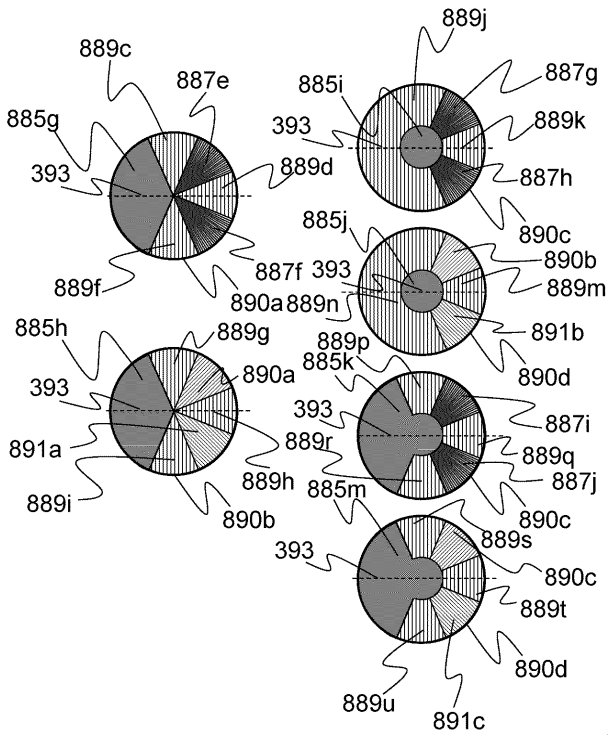
【 図 3 4 】

図34



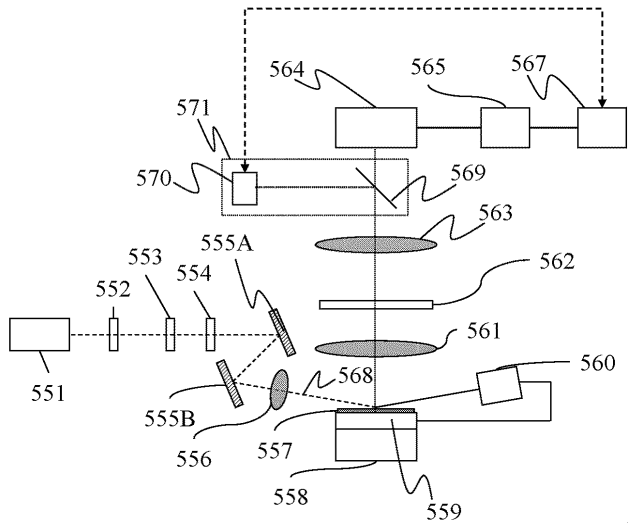
【 図 3 5 】

図35



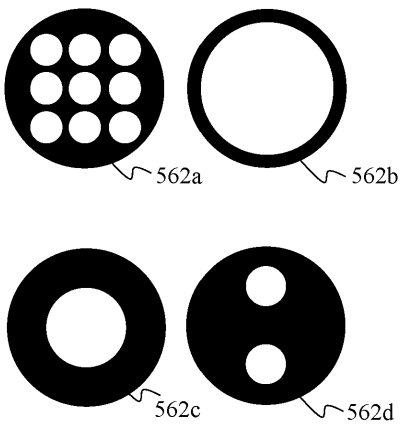
【 図 3 6 】

図36



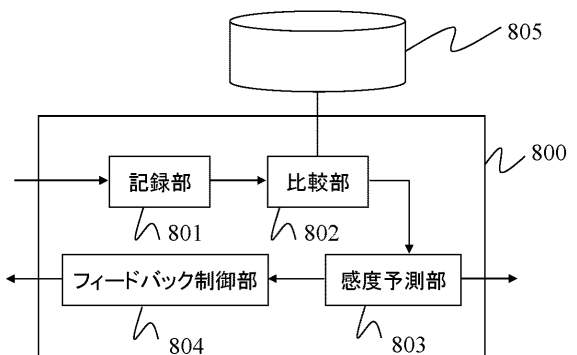
【 図 3 7 】

図37



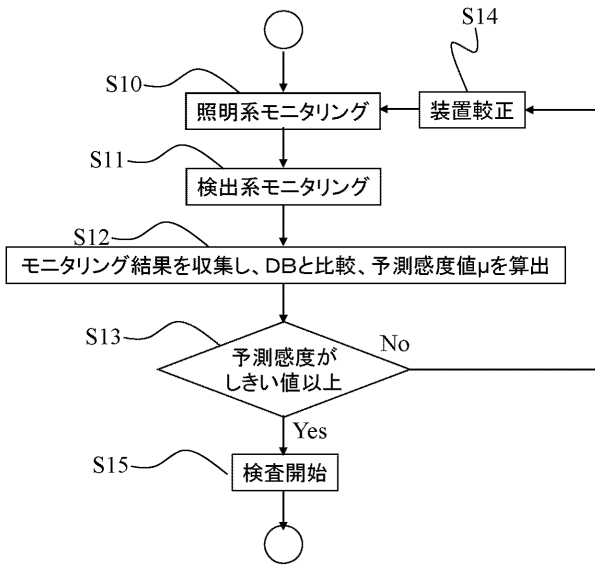
【 図 3 8 】

図38



【 図 3 9 】

図39



---

フロントページの続き

(72)発明者 渡辺 正浩

神奈川県横浜市戸塚区吉田町2-9-2番地 株式会社日立製作所生産技術研究所内

(72)発明者 松本 俊一

神奈川県横浜市戸塚区吉田町2-9-2番地 株式会社日立製作所生産技術研究所内

Fターム(参考) 2G051 AA51 AA71 AB01 AB07 BA04 BA05 BA10 BA11 BB07 BB20  
BC04 CA03 CB01 CB05 CC07 CC15 CC20 CD02 DA07  
4M106 AA01 BA02 BA05 CA38 CA41 DB02 DB05 DB08 DB14 DB15  
DB18