

明 細 書

発明の名称：

オートフォーカス支援方法、オートフォーカス支援装置、オートフォーカス支援プログラム

技術分野

[0001] 実施形態の一側面は、オートフォーカス支援方法、オートフォーカス支援装置、オートフォーカス支援プログラムに関する。

背景技術

[0002] 特許文献1には、様々な不純物濃度の半導体デバイスに対し、基板の裏面側から撮像した反射光像のコントラストが最大になる最適波長を求めることにより最適な照明光波長を自動的に設定する自動波長調整機能と、オートフォーカス（自動焦点調節）機能とを有する半導体デバイス故障解析装置が開示されている。

先行技術文献

特許文献

[0003] 特許文献1：特開2003-232749号公報

発明の概要

発明が解決しようとする課題

[0004] 従来から、半導体デバイスを検査対象デバイス（DUT：Device Under Test）として画像を取得して、その画像を基に故障箇所の特等各種分析が行われている。また、近年では、半導体デバイスを構成する基板の表面を研磨することにより、半導体デバイス基板を薄型化して画像取得に最適な条件を設定することが検討されている。基板の表面が研磨された半導体デバイスに対し、オートフォーカス機能を有する撮像装置を用いて画像を取得すると、半導体デバイス内のデバイスパターンに対するオートフォーカスの精度が低下するという問題があった。

[0005] そこで、実施形態の一側面は、半導体デバイス内のデバイスパターンに対するオートフォーカスの精度を向上させることが可能なオートフォーカス支援方法、オートフォーカス支援装置、オートフォーカス支援プログラム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

[0006] 実施形態の第一の側面に係るオートフォーカス支援方法は、基板と、前記基板の一方の主面側に形成されたデバイスパターンとを有する半導体デバイスに対するオートフォーカスを支援する方法であって、基板に焦点が合った第1画像を取得する画像取得ステップと、フーリエ変換によって、第1画像から空間周波数画像を取得し、空間周波数画像に基づいて基板上の同一方向の線状パターンをマスクするマスクデータを生成する生成ステップと、基板の他方の主面側において、撮像装置の焦点位置を変化させながら撮像装置を用いて撮像された複数の第2画像を取得し、第2画像に対してマスクデータを用いてフィルタリングを実行する処理ステップと、フィルタリング後の第2画像に基づいて、デバイスパターンに撮像装置の焦点を合わせる焦点調整ステップと、を備える。

[0007] あるいは、実施形態の第二の側面に係るオートフォーカス支援装置は、基板と、基板の一方の主面側に形成されたデバイスパターンとを有する半導体デバイスを載置するステージと、半導体デバイスに光を照射するための光源、及び、半導体デバイスからの光を検出する光検出器を有する撮像装置と、ステージと撮像装置との相対位置を制御する制御部と、を備える。制御部は、基板に焦点が合った第1画像を取得する画像取得部と、フーリエ変換によって、第1画像から空間周波数画像を取得し、空間周波数画像に基づいて基板上の同一方向の線状パターンをマスクするマスクデータを生成する生成部と、基板の他方の主面側において、撮像装置の焦点位置を変化させながら撮像装置を用いて撮像された複数の第2画像を取得し、第2画像に対してマスクデータを用いてフィルタリングを実行する処理部と、フィルタリング後の第2画像に基づいて、デバイスパターンに撮像装置の焦点を合わせる焦点調

整部と、を有する。

[0008] あるいは、実施形態の第三の側面に係るオートフォーカス支援プログラムは、基板と、基板の一方の主面側に形成されたデバイスパターンとを有する半導体デバイスに対するオートフォーカスを支援するためのオートフォーカス支援プログラムであって、コンピュータを、基板に焦点が合った第1画像を取得する画像取得部と、フーリエ変換によって、第1画像から空間周波数画像を取得し、空間周波数画像に基づいて基板上の同一方向の線状パターンをマスクするマスクデータを生成する生成部、基板の他方の主面側において、撮像装置の焦点位置を変化させながら撮像装置を用いて撮像された複数の第2画像を取得し、第2画像に対してマスクデータを用いてフィルタリングを実行する処理部、及び、フィルタリング後の第2画像に基づいて、デバイスパターンに撮像装置の焦点を合わせる焦点調整部、として機能させる。

[0009] 上記第一の側面、上記第二の側面、あるいは上記第三の側面によれば、基板に焦点が合った第1画像から空間周波数画像が取得され、空間周波数画像に基づいて基板上の同一方向の線状パターンをマスクするマスクデータが生成される。そして、基板の他方の主面側において、焦点位置を変化させながら撮像された画像である、マスクデータによりフィルタリング後の第2画像を用いて処理することによって、基板の一方の主面側に形成されたデバイスパターンに焦点が合わせられる。この場合、第2画像における同一方向の線状パターンが低減される。このような第2画像に基づいて焦点の調整がなされることにより、半導体デバイス内のデバイスパターンに対するオートフォーカスの精度を向上させることができる。

発明の効果

[0010] 本開示の一側面によれば、半導体デバイス内のデバイスパターンに対するオートフォーカスの精度を向上させることが可能となる。

図面の簡単な説明

[0011] [図1]実施形態に係るオートフォーカス支援装置の概略構成図である。

[図2]第1画像の例を示す図である。

[図3]第1画像の例を示す図である。

[図4]第1画像の例を示す図である。

[図5]空間周波数画像の生成の一例を説明するための画像を示す図である。

[図6]マスクデータの作成処理及びフーリエ逆変換処理を説明するための画像を示す図である。

[図7]角度毎の周波数成分の和の一例を示すグラフである。

[図8]マスキング幅の算出処理を説明するための画像を示す図である。

[図9]マスキング幅の算出処理を説明するためのグラフである。

[図10]マスキング幅の算出処理を説明するためのグラフである。

[図11]焦点位置毎のフィルタリング処理を説明するための画像を示す図である。

[図12]焦点位置毎のフィルタリング処理を説明するための画像を示す図である。

[図13]焦点位置毎のフィルタリング処理を説明するための画像を示す図である。

[図14]焦点調整の第1例を説明するための画像を示す図である。

[図15]焦点調整の第2例を説明するための画像を示す図である。

[図16]空間周波数画像の生成の一例を説明するための画像を示す図である。

[図17]角度成分の計算の一例を説明するための画像を示す図である。

[図18]角度毎の周波数成分の和の一例を示すグラフである。

[図19]第1空間周波数領域と第2空間周波数領域との識別を説明するための画像を示す図である。

[図20]移動平均を用いた角度毎の周波数成分の和の一例を示すグラフである。

[図21]第2画像及びフィルタリング後の第2画像の例を示す図である。

[図22]第2画像及びフィルタリング後の第2画像の例を示す図である。

[図23]第2画像及びフィルタリング後の第2画像の例を示す図である。

[図24]第2画像及びフィルタリング後の第2画像の例を示す図である。

[図25]第2画像及びフィルタリング後の第2画像の例を示す図である。

[図26]第2画像及びフィルタリング後の第2画像の例を示す図である。

[図27]オートフォーカス支援装置の動作手順の一例を示すフローチャートである。

[図28]比較例に係るオートフォーカス機能を説明するための画像を示す図である。

[図29]比較例に係るオートフォーカス機能を説明するためのグラフである。

[図30]比較例に係るオートフォーカス指標値の二つの極大値間の影響を説明するためのグラフである。

[図31]比較例に係るシフト量の計算結果を示すグラフである。

[図32]マスクデータのバリエーションを示す図である。

[図33]空間周波数画像の生成の一例を説明するための画像を示す図である。

[図34]フィルタリング処理の一例を説明するための画像を示す図である。

[図35]フィルタリング処理の一例を説明するための画像を示す図である。

[図36]フィルタリング処理の一例を説明するための画像を示す図である。

[図37]フィルタリング処理の一例を説明するための画像を示す図である。

発明を実施するための形態

[0012] 以下、本開示の好適な実施形態について、図面を参照して詳細に説明する。なお、各図において同一又は相当部分には同一符号付し、重複する説明を省略する。

[0013] 図1は、実施形態に係るオートフォーカス支援装置1の概略構成図である。オートフォーカス支援装置1は、半導体デバイスDの画像を取得する際に用いられるオートフォーカス機能を支援するための装置である。取得された画像は半導体デバイスDの解析のために用いられる。半導体デバイスDの解析とは、例えば、半導体デバイスDが含む故障箇所の位置の特定が挙げられるが、これに限定されない。半導体デバイスDの解析は、半導体デバイスDに関するその他の解析及び検査等を含む。

[0014] 半導体デバイスDとしては、ダイオードやパワートランジスタ等を含む個

別半導体素子（ディスクリート）、オプトエレクトロニクス素子、センサ／アクチュエータ、あるいは、MOS（Metal-Oxide-Semiconductor）構造又はバイポーラ構造のトランジスタで構成されるロジックLSI（Large Scale Integration）、メモリ素子、リニアIC（Integrated Circuit）、それらの混成デバイス等がある。また、半導体デバイスDは、半導体デバイスを含むパッケージ、複合基板等であってもよい。

[0015] 半導体デバイスDは、基板及び金属層を含む積層構造を有する。半導体デバイスDの基板としては、例えばシリコン、SiC（シリコンカーバイド）、GaN（ガリウムナイトライド）等が用いられる。本実施形態の半導体デバイスDの基板は、シリコンにより形成されており、デバイスの機能要請に従った厚さ（例えば $200\mu\text{m}$ ）を有している。基板の表面D2（一方の主面）には、デバイスパターンが形成されている。基板の裏面D1（他方の主面）には、研磨が施されることによって同一方向の線状の複数の研磨傷が形成されている。半導体デバイスDは、サンプルステージ30に載置されている。

[0016] オートフォーカス支援装置1は、撮像装置10と、XYZステージ13と、計算機21と、表示部22と、入力部23とを備えている。撮像装置10は、光源11と、光学系12と、光検出器14とを有している。

[0017] 光源11は、半導体デバイスDを照明するための光を出力する。光源11は、例えばLED（Light Emitting Diode）及びランプ光源等であり、電源（不図示）に接続されている。光源11から出力された光は光学系12に導かれる。

[0018] 光学系12は、光源11から出力された光を半導体デバイスDの基板側、すなわち半導体デバイスDの基板の裏面D1側から半導体デバイスDに照射する。光学系12は、ビームスプリッタ及び対物レンズを有している。対物レンズは、光源11から出力されビームスプリッタによって導かれた光を半導体デバイスDに集光する。対物レンズとしては、例えば、開口数（NA : Numerical Aperture）= 0.14、焦点深度（DOF : Depth of Focus）= 3

3 μm の5倍の対物レンズ、 $\text{NA}=0.4$ 、 $\text{DOF}=4.1\text{ }\mu\text{m}$ の20倍の対物レンズ、及び $\text{NA}=0.5$ 、 $\text{DOF}=2.6\text{ }\mu\text{m}$ の100倍の対物レンズ等が用いられる。なお上記DOFは、光の波長が1.3 μm であった場合の計算値である。

[0019] 光学系12は、XYZステージ13に載置されている。XYZステージ13は、対物レンズの光軸方向であるZ軸方向、並びに、Z軸方向に直交するX軸方向及びY方向に光学系12を移動させる。XYZステージ13は、計算機21に制御されることにより上述した3軸方向に移動可能とされている。XYZステージ13の位置によって観察エリアが決定される。

[0020] 光学系12は、照明された光に応じて、半導体デバイスDにおいて反射された光（反射光）を、光検出器14に伝達する。一例として、照明された光の波長は1.0 μm 以上である。この場合、光は半導体デバイスDのシリコンの基板を透過し、デバイスパターンで反射される。そして、デバイスパターンを反射した光は、再び基板を透過し、光学系12の対物レンズ及びビームスプリッタを介して光検出器14に入力される。

[0021] 光検出器14は、半導体デバイスDからの光を撮像し、画像データ（検出信号）を出力する。例えば、光検出器14は、半導体デバイスDから反射された光を撮像し、基板上の線状パターンをマスクするマスクデータを作成するための画像データを出力する。光検出器14としては、InGaAsカメラ、レーザ顕微鏡、CCD（Charge Coupled Device）イメージセンサを搭載したCCDカメラ又はCMOSイメージセンサを搭載したCMOSカメラ等が用いられる。光検出器14がInGaAsカメラである場合、1.0 μm 以上の波長の赤外光照明を行う光源11と共に用いられる。光検出器14がレーザ顕微鏡である場合、1.3 μm の波長のレーザを出力する光源11と共に用いられる。光検出器14がCCDカメラである場合、可視光照明を行う光源11と共に用いられる。

[0022] 計算機21は、オートフォーカス支援装置1の動作を制御する制御部としての機能を有する。計算機21は、例えばパーソナルコンピュータ等のコン

ピュータである。計算機 2 1 は、光源 1 1、光学系 1 2、X Y Z ステージ 1 3、及び光検出器 1 4 に接続されている。また、計算機 2 1 は、表示部 2 2 及び入力部 2 3 に接続されている。表示部 2 2 はディスプレイ等の表示装置である。入力部 2 3 はユーザからの入力を受け付けるキーボード及びマウス等の入力装置である。例えば、計算機 2 1 は、X Y Z ステージ 1 3 を 3 軸方向に移動させることにより、サンプルステージ 3 0 と光学系 1 2 との相対位置を制御する。計算機 2 1 は、画像取得部 2 1 a、生成部 2 1 b、処理部 2 1 c、及び焦点調整部 2 1 d を有している。

[0023] 画像取得部 2 1 a は、基板に焦点が合った第 1 画像を取得する。第 1 画像は基板の裏面 D 1 側から撮像された半導体デバイス D の画像である。第 1 画像における焦点の調整は、手動又は自動を問わない。

[0024] 生成部 2 1 b は、フーリエ変換によって、第 1 画像から空間周波数画像を取得し、空間周波数画像に基づいて基板上の線状パターンをマスクするマスクデータを生成する。

[0025] 処理部 2 1 c は、基板の裏面 D 1 側において、撮像装置 1 0 の焦点位置を変化させながら撮像装置 1 0 を用いて撮像された複数の第 2 画像を取得し、第 2 画像に対してマスクデータを用いてフィルタリングを実行する。

[0026] 焦点調整部 2 1 d は、フィルタリング後の第 2 画像に基づいて、デバイスパターンに撮像装置 1 0 の焦点を合わせる。

[0027] 計算機 2 1 は、デバイスパターンに焦点が合った状態で撮像された半導体デバイス D の画像（解析画像）を表示部 2 2 に出力する。表示部 2 2 は、入力された解析画像を表示する。この場合、ユーザは、表示部 2 2 に表示された解析画像から故障箇所の位置を確認し、故障箇所を示す情報を入力部 2 3 に入力する。入力部 2 3 は、ユーザから受け付けた、故障箇所を示す情報を計算機 2 1 に出力する。

[0028] 計算機 2 1 の各機能部は、計算機 2 1 の CPU 等の演算処理装置（プロセッサ）が計算機 2 1 の内蔵メモリやハードディスクドライブ等の記憶媒体に格納されたコンピュータプログラム（オートフォーカス支援プログラム）を

実行することによって実現される機能である。計算機 21 の演算処理装置は、このコンピュータプログラムを実行することによって計算機 21 を図 1 の各機能部として機能させ、後述するオートフォーカス支援処理を順次実行する。このコンピュータプログラムの実行に必要な各種データ、及び、このコンピュータプログラムの実行によって生成された各種データは、例えば計算機 21 の RAM 等（DRAM、SRAM、ロジック内蔵フラッシュメモリ、MRAM 等）の内蔵メモリやフラッシュメモリ、SSD、ハードディスクドライブ等の記憶媒体に格納される。

[0029] 図 2～図 4 は、第 1 画像の例を示す図である。また、図 2～図 4 に示される第 1 画像は、半導体デバイス D の基板の裏面 D1 に焦点が合った状態で撮像された画像である。

[0030] 図 2 の（a）部、（b）部、及び（c）部は、それぞれ、 $1.0\mu\text{m}$ 以上の波長を有する赤外光照明を用いた InGaAs カメラにより撮像された第 1 画像 P1、P2、P3 を示す。第 1 画像 P1、第 1 画像 P2 及び第 1 画像 P3 は、それぞれ 5 倍の対物レンズ、20 倍の対物レンズ、及び 100 倍の対物レンズを用いて撮像された画像である。第 1 画像 P1 には、裏面 D1 に形成された研磨傷と共に、デバイスパターンが現れている。基板に入射した光は、シリコンの屈折率（ $=3.5$ ）によってより遠くに届く。そのため、撮像装置 10 の焦点位置が裏面 D1 に合焦している場合であっても、 $\text{DOF} = 33\mu\text{m}$ 、及び基板の厚さ $= 200\mu\text{m}$ 等の条件に応じて、第 1 画像 P1 のようにデバイスパターンが現れ得る。一方、第 1 画像 P2 及び第 1 画像 P3 には、デバイスパターンがほとんど現れておらず、裏面 D1 に形成された研磨傷が現れている。20 倍の対物レンズ及び 100 倍の対物レンズでは、NA が高く、DOF が浅い。そのため、第 1 画像 P2 及び第 1 画像 P3 にはデバイスパターンがほとんど現れない。

[0031] 図 3 の（a）部、（b）部、及び（c）部は、それぞれ、 $1.3\mu\text{m}$ の波長を有するレーザ光を用いたレーザ顕微鏡により撮像された第 1 画像 P4、P5、P6 を示す。第 1 画像 P4、第 1 画像 P5 及び第 1 画像 P6 は、それ

それぞれ5倍の対物レンズ、20倍の対物レンズ、及び100倍の対物レンズを用いて撮像された画像である。第1画像P4には、図2の(a)部に示される第1画像P1と同様の理由により、裏面D1に形成された研磨傷と共に、デバイスパターンが現れている。第1画像P5及び第1画像P6には、図2の(a)部に示される第1画像P2及び第1画像P3と同様の理由により、デバイスパターンがほとんど現れておらず、裏面D1に形成された研磨傷が現れている。

[0032] 図4の(a)部、(b)部、及び(c)部は、それぞれ、可視光照明を用いたCCDカメラにより撮像された第1画像P7、P8、P9を示す。第1画像P7、第1画像P8及び第1画像P9は、それぞれ5倍の対物レンズ、20倍の対物レンズ、及び100倍の対物レンズを用いて撮像された画像である。可視光はシリコンの基板を透過しないため、第1画像P7、第1画像P8及び第1画像P9には、デバイスパターンが現れておらず、裏面D1に形成された研磨傷が現れている。

[0033] 次に、生成部21bの処理の一例を説明する。図5は、空間周波数画像の生成の一例を説明するための画像を示す図である。図5に示される画像P10は、5倍の対物レンズ及び可視光照明を用いたCCDカメラにより、基板の裏面D1に焦点が合った状態で撮像された第1画像である。画像P10には、特定の方向(斜め)の線状パターンである研磨傷が画像全体に亘って複数現れている。画像P10は、例えば 512×512 ピクセルによって構成されており、x軸及びy軸の二次元座標系におけるピクセル値(輝度)を有している。座標(x, y)における輝度は $f(x, y)$ と表すことができる。

[0034] 生成部21bは、フーリエ変換によって、第1画像から空間周波数画像を取得する。空間周波数画像は、第1画像中に輝度変化が生じた頻度を示し、長さの逆数の次元を有している。このような空間周波数画像には、輝度変化の頻度が高い特徴が白く現れる。例えば、生成部21bは、画像P10に対するフーリエ変換によって、空間周波数画像P101を取得する。空間周波

数画像 P 1 0 1 は、画像 P 1 0 中に輝度変化が生じた頻度 $F(u, v)$ を示す画像である。空間周波数画像 P 1 0 1 の縦横の軸にそれぞれ対応する u, v は、 $Lines / 512$ ピクセルの単位を有する。一例として、空間周波数画像 P 1 0 1 上のある一つの点の頻度 $F(10, 0)$ は、画像 P 1 0 の y 軸方向における 512 ピクセル中に 10 回の輝度変化が生じた頻度を示す。空間周波数画像 P 1 0 1 には、空間周波数領域 F 1 が斜めに延びる直線状の白い線として現れている。

[0035] また、生成部 2 1 b は、空間周波数画像 P 1 0 1 に基づいて基板上の線状パターンをマスクするマスクデータを生成する。例えば、生成部 2 1 b は、空間周波数画像 P 1 0 1 上の空間周波数領域 F 1 を識別する。図 6 は、マスクデータの作成処理及びフーリエ逆変換処理を説明するための画像を示す図である。図 6 に示される画像 P 1 0 2 及び画像 P 1 0 3 は、空間周波数領域 F 1 の識別に係る処理で用いられる二つの画像の例を示す。

[0036] 空間周波数領域 F 1 の識別に係る第 1 例は、ユーザ入力による角度認識である。画像 P 1 0 2 は、空間周波数画像 P 1 0 1 上にユーザ入力を受け付けるユーザインタフェースを表示した画像である。例えば、表示部 2 2 は、画像 P 1 0 2 と共に画像 P 1 0 2 の中心を通る矩形枠状のボックス U を表示する。入力部 2 3 は、マウス操作又は矢印キー押下等のユーザ入力を受け付け、画像 P 1 0 2 の中心を基準としてボックス U を回転させる。例えば、入力部 2 3 は、画像 P 1 0 2 上で空間周波数領域 F 1 の角度とボックス U の角度とを合致させるユーザ入力を受け付ける。このようなユーザ入力により、生成部 2 1 b は空間周波数領域 F 1 を識別する。

[0037] 空間周波数領域 F 1 の識別に係る第 2 例は、角度毎の周波数成分の計算による認識である。生成部 2 1 b は、空間周波数画像 P 1 0 1 の中心軸に対する複数の角度の領域毎に周波数成分の和を算出する。例えば、生成部 2 1 b は、空間周波数画像 P 1 0 1 に対し円形の領域 C A を残すように周縁部をマスクした画像 P 1 0 3 を生成する。また、生成部 2 1 b は、円形の領域 C A 内における角度 θ 毎に $\pm 0.5^\circ$ の範囲にある周波数成分の和を算出する。

そして、生成部 21b は、複数の角度 θ の領域毎の周波数成分の和に基づいて、複数の角度 θ の領域のうちから、空間周波数領域 F1 を識別する。図 7 は、角度 θ 毎の周波数成分の和の一例を示すグラフである。グラフ G1 において、横軸が角度 θ を示し、縦軸が周波数成分の和を示す。グラフ G1 において、研磨傷とは異なる縦横パターンに対応する 0° 、 90° 、 180° 、 270° 以外の角度 $\theta = 34^\circ$ 、及び角度 $\theta = 214^\circ$ のときに周波数成分の和がピークとして現れている。生成部 21b は、このような角度 θ 毎の周波数成分の和のピークを空間周波数領域 F1 として識別する。

[0038] 続いて、生成部 21b は、空間周波数領域 F1 を基にしてマスクデータを生成する。生成部 21b は、空間周波数画像 P101 の中心軸に対する空間周波数領域 F1 の角度（傾き）に基づき、直線状のマスクデータを生成する。マスクデータは所定のマスクング幅を有する。マスクング幅は、予め定められた幅でもよいし、以下に述べるマスクング幅の算出処理によって算出された幅でもよい。

[0039] 図 8 は、マスクング幅の算出処理を説明するための画像を示す図である。画像 P1011 は、空間周波数画像 P101 に対し円形の領域を残すように周縁部がマスクされた画像である。生成部 21b は、画像 P1011 の空間周波数領域 F1 を縦軸方向になるように空間周波数画像 P101 を回転させ、画像 P1012 を取得する。画像 P1012 には、所定の領域である各ボックス（Box 1～Box 10）が画像の中心から画像の外側に向けて順に割り当てられている。

[0040] 図 9 は、マスクング幅の算出処理を説明するためのグラフである。グラフ G2 は、図 8 に示される画像 P1012 の各ボックス（Box 1～Box 10）の横軸方向に沿ったプロファイルを計算したグラフである。グラフ G2 において、横軸が画像 P1012 の横軸方向の空間周波数を示し、縦軸が投影値（輝度変化）を示す。また、グラフ G2 では、各ボックスのプロファイルが小円によってプロットされており、それぞれの小円に対し、最小二乗法によりガウス分布を適用した結果がラインによって示されている。ガウ

ス分布は、画像P1012の中心に近いBox 1から外側のBox 10に向かうにつれて広がっている。

[0041] 図10は、マスキング幅の算出処理を説明するためのグラフである。図10に示されるグラフG3は、図9に示されるガウス分布の標準偏差をボックス番号に従ってプロットしたグラフである。グラフG3において、横軸がBox番号を示し、縦軸がガウス分布の標準偏差を示す。生成部21bは、例えば標準偏差の3倍の幅を有する幅をマスキング幅として算出する。このマスキング幅には、研磨傷の99.7%に対応する周波数成分が包含され得る。

[0042] 図6に戻り、フィルタリング処理について説明する。画像P104は、空間周波数画像P101上に、生成部21bにより生成されたマスクデータMを重ねて表示した画像である。画像P104上では、空間周波数画像P101上の空間周波数領域F1と、マスクデータMとが重なる。ここで、画像P104に対しフーリエ逆変換が実行されると、フィルタリング後の画像P105が生成される。画像P105は、図5に示される画像P10と比較して、研磨傷のパターンが低減されている。

[0043] 図11～図13は、焦点位置毎のフィルタリング処理を説明するための画像を示す図である。処理部21cは、裏面D1側において、撮像装置10の焦点位置を変化させながら撮像装置10を用いて撮像された複数の第2画像を取得する。処理部21cは、XYZステージ13をサンプルステージ30に近づく方向に移動させることにより、撮像装置10の焦点位置を変化させる。また、処理部21cは、第2画像に対してマスクデータを用いてフィルタリングを実行する。図11～図13でのフィルタリングは、共通のマスクデータが用いられる。

[0044] 図11に示される画像P11は、20倍の対物レンズ及び $1.3\mu\text{m}$ の波長を有するレーザ光を用いたレーザ顕微鏡によって、半導体デバイスDの基板の裏面D1に合焦した状態で撮影された第2画像である。画像P11には、裏面D1に形成された研磨傷が現れている。処理部21cは、画像P11

に対しフーリエ変換を実行することによって、空間周波数画像P 1 1 1を取得する。処理部2 1 cは、空間周波数画像P 1 1 1上にマスクデータを重ねた画像P 1 1 2に対しフーリエ逆変換を実行することによって、フィルタリング後の画像P 1 1 3を取得する。画像P 1 1 3は、画像P 1 1と比較して研磨傷のパターンが低減されている。また、画像P 1 1 3は、画像P 1 1の画像全体に亘る明暗変化であるシェーディングが消去されている。このようなシェーディングの消去は、コントラスト値を画像全体の輝度値により正規化した値をオートフォーカス指標値として使用する場合におけるバックグラウンドノイズキャンセルとなる。

[0045] 図1 2に示される画像P 1 2は、2 0倍の対物レンズ及び1 . 3 μ mの波長を有するレーザ光を用いたレーザ顕微鏡によって、半導体デバイスDの基板の裏面D 1とデバイスパターンとの間に合焦した状態で撮影された第2画像である。画像P 1 2には、裏面D 1に形成された研磨傷と共に、デバイスパターンが現れている。処理部2 1 cは、画像P 1 2に対しフーリエ変換を実行することによって、空間周波数画像P 1 2 1を取得する。処理部2 1 cは、空間周波数画像P 1 2 1上にマスクデータを重ねた画像P 1 2 2に対しフーリエ逆変換を実行することによって、フィルタリング後の画像P 1 2 3を取得する。画像P 1 2 3は、画像P 1 2と比較して研磨傷のパターンが低減されている。

[0046] 図1 3に示される画像P 1 3は、2 0倍の対物レンズ及び1 . 3 μ mの波長を有するレーザ光を用いたレーザ顕微鏡によって、半導体デバイスDのデバイスパターンに合焦した状態で撮影された第2画像である。画像P 1 3には、デバイスパターンと共に、僅かに裏面D 1に形成された研磨傷が現れている。処理部2 1 cは、画像P 1 3に対しフーリエ変換を実行することによって、空間周波数画像P 1 3 1を取得する。処理部2 1 cは、空間周波数画像P 1 3 1上にマスクデータを重ねた画像P 1 3 2に対しフーリエ逆変換を実行することによって、フィルタリング後の画像P 1 3 3を取得する。画像P 1 3 3は、画像P 1 3と比較して研磨傷のパターンが低減されている。

- [0047] 焦点調整部 21 d は、撮像装置 10 の焦点位置を調整する。例えば、焦点調整部 21 d は、画像から算出されたオートフォーカス指標値に基づきデバイスパターンに撮像装置 10 の焦点を合わせる。オートフォーカス指標値としては、例えば、コントラスト値、コントラスト値を画像全体の輝度値により正規化した値、フーリエ変換により取得された周波数成分の和、及びディープラーニング過程に従って計算される値が用いられる。本実施形態では、オートフォーカス指標値はコントラスト値であるとして説明する。
- [0048] 図 1 4 は、焦点調整の第 1 例を説明するための画像を示す図である。第 1 例では、20 倍の対物レンズ及び 1.3 μm の波長を有するレーザ光を用いたレーザ顕微鏡が用いられる。第 1 例は、焦点の位置を変化させながらマスクデータを生成し、さらに焦点の位置を変化させながら該マスクデータを用いてフィルタリングされた第 2 画像に基づいて焦点の調整を行う処理である。
- [0049] 画像取得部 21 a は、撮像装置 10 の焦点を変化させながら第 1 画像を取得する。生成部 21 b は、焦点位置が基板の裏面 D 1 に合焦した状態を検出するために、第 1 画像に基づいてオートフォーカス指標値を取得する。ここで、焦点位置が基板の裏面 D 1 に合焦した状態で撮像された画像は、裏面 D 1 に形成された研磨傷の影響によってオートフォーカス指標値が極大値となり得る。
- [0050] 画像 P 1 4 は、基板の裏面 D 1 から手前の位置に合焦した状態で撮影された第 1 画像である。画像 P 1 4 に基づくオートフォーカス指標値は極大値となり難い。画像 P 1 4 1 は、焦点位置が基板の裏面 D 1 に合焦した状態で撮像された第 1 画像である。画像 P 1 4 1 に基づくオートフォーカス指標値は極大値となり得る。この極大値が検出された段階で、生成部 21 b は、画像 P 1 4 1 に基づいてマスクデータを生成する。マスクデータの生成以降に取得される画像は第 2 画像となる。
- [0051] 画像 P 1 4 2 は、焦点位置が基板の裏面 D 1 と表面 D 2 との間の位置に合焦した状態で撮像された第 2 画像である。画像 P 1 4 3 は、画像 P 1 4 2 に

に基づくフィルタリング後の第2画像である。画像P 1 4 4は、焦点位置が基板の表面D 2側に形成されたデバイスパターンに合焦した状態で撮像された第2画像である。画像P 1 4 5は、画像P 1 4 4に基づくフィルタリング後の第2画像である。画像P 1 4 6は、焦点位置がデバイスパターンから遠方の位置に合焦した状態で撮像された第2画像である。画像P 1 4 7は、画像P 1 4 6に基づくフィルタリング後の第2画像である。焦点調整部2 1 dは、各フィルタリング後の第2画像に基づいてオートフォーカス指標値を取得し、デバイスパターンに撮像装置1 0の焦点を合わせる。ここで、画像P 1 4 5は、デバイスパターンの影響によってオートフォーカス指標値が極大値となり得る。

[0052] 第1例では、オートフォーカス指標値の極大値が2回検出される。第1例では、最初の極大値の検出以降にフィルタリング処理が行われるため、フィルタリング処理に係る処理負荷を低減することができる。

[0053] 図1 5は、焦点調整の第2例を説明するための画像を示す図である。第2例では、第1例と同様に2 0倍の対物レンズ及び1. 3 μ mの波長を有するレーザー光を用いたレーザー顕微鏡が用いられる。第2例は、予め生成されたマスクデータを用いてフィルタリングを実行し、フィルタリング後の第2画像に基づいて焦点の調整を行う処理である。

[0054] 画像P 1 5は、基板の裏面D 1から手前の位置に合焦した状態で撮影された第2画像である。画像P 1 5 1は、画像P 1 5に基づくフィルタリング後の第2画像である。画像P 1 5 2は、焦点位置が基板の裏面D 1に合焦した状態で撮像された第2画像である。画像P 1 5 3は、画像P 1 5 2に基づくフィルタリング後の第2画像である。画像P 1 5 4は、焦点位置が基板の裏面D 1と表面D 2との間の位置に合焦した状態で撮像された第2画像である。画像P 1 5 5は、画像P 1 5 4に基づくフィルタリング後の第2画像である。画像P 1 5 6は、焦点位置が基板の表面D 2側に形成されたデバイスパターンに合焦した状態で撮像された第2画像である。画像P 1 5 7は、画像P 1 5 6に基づくフィルタリング後の第2画像である。画像P 1 5 8は、焦

点位置がデバイスパターンから遠方の位置に合焦した状態で撮像された第2画像である。画像P159は、画像P158に基づくフィルタリング後の第2画像である。焦点調整部21dは、フィルタリング後の第2画像に基づいてオートフォーカス指標値を取得し、デバイスパターンに撮像装置10の焦点を合わせる。ここで、デバイスパターンに合焦した状態で撮像された画像P157は、デバイスパターンの影響によってオートフォーカス指標値が極大値となり得る。

[0055] 第2例では、オートフォーカス指標値の極大値が1回検出される。これは、裏面D1に形成された研磨傷がオートフォーカス指標値に与える影響が抑制されるためである。第2例では、オートフォーカス指標値の極大値が精度よく検出されることにより、デバイスパターンに対するオートフォーカスの精度が向上する。

[0056] 次に、図16～図20を参照しながら、悪条件におけるオートフォーカス支援装置1の適用例を説明する。図16は、空間周波数画像の生成の一例を説明するための画像を示す図である。図16に示される画像P16は、5倍の対物レンズ及び $1.3\mu\text{m}$ の波長を有するレーザ光を用いたレーザ顕微鏡により、基板の裏面D1に焦点が合った状態で撮像された第1画像である。画像P16における半導体デバイスDは、画像の中心軸から 5° 傾斜している。このような傾斜は、例えば半導体デバイスDがサンプルステージ30上で傾斜して配置されていることに起因する。画像P16には、裏面D1に形成された研磨傷と共に、デバイスパターンが現れている。

[0057] 生成部21bは、画像P16に対するフーリエ変換によって、空間周波数画像P161を取得する。空間周波数画像P161には、デバイスパターン及び研磨傷のパターンによって、様々な白い線が現れている。

[0058] 生成部21bは、空間周波数画像P161に基づいて、研磨傷のパターンに対応した第1空間周波数領域とデバイスパターンを含む第2空間周波数領域とを識別する。図17は、角度成分の計算の一例を説明するための画像を示す図である。図17に示されるように、生成部21bは、空間周波数画像

P 1 6 1 に対し円形の領域 C B を残すように周縁部をマスクした画像 P 1 6 2 を生成する。また、生成部 2 1 b は、円形の領域 C B 内における角度 θ 毎に $\pm 0.5^\circ$ の範囲にある周波数成分の和を算出する。そして、生成部 2 1 b は、複数の角度の領域毎の周波数成分の和に基づいて、複数の角度の領域のうちから、第 1 空間周波数領域を識別する。

[0059] 図 1 8 は、角度毎の周波数成分の和の一例を示すグラフである。グラフ G 4 において、横軸が角度 θ を示し、縦軸が周波数成分の和を示す。グラフ G 4 において、角度 $\theta = 28.5^\circ$ 、及び角度 $\theta = 208.5^\circ$ のときに 180° 周期の周波数成分の和がピークとして現れている。生成部 2 1 b は、このような 180° 周期の周波数成分の和のピークを第 1 空間周波数領域として識別する。また、グラフ G 4 において、画像 P 1 6 2 の u v 方向からずれた角度 $\theta = 85^\circ$ 、 175° 、 265° 、及び 355° のときに 90° 周期の周波数成分の和がピークとして現れている。これは半導体デバイス D が有する性質として、デバイスパターンが縦横の方向に形成されているためである。生成部 2 1 b は、このような 90° 周期の周波数成分の和のピークを第 2 空間周波数領域として識別する。

[0060] 図 1 9 は、第 1 空間周波数領域と第 2 空間周波数領域との識別を説明するための画像を示す図である。画像 P 1 6 3 において、第 1 空間周波数領域を示す直線 P 1 6 3 3 は、画像 P 1 6 3 上で 180° の周期として現れている。第 2 空間周波数領域を示す直線 P 1 6 3 1、P 1 6 3 2 は、画像 P 1 6 3 上で互いに直交し 90° の周期として現れている。

[0061] 図 2 0 は、移動平均を用いた角度毎の周波数成分の和の一例を示すグラフである。グラフ G 5 は、図 1 8 に示されるグラフ G 4 に対し畳み込み演算を用いて移動平均を算出したグラフである。角度毎の周波数成分の和において、角度 $\theta = 0^\circ \sim 180^\circ$ と、角度 $\theta = 180^\circ \sim 360^\circ$ とは同等の角度成分で構成されている。そのため、グラフ G 5 では、角度 $\theta = 0^\circ$ 、 90° 及び 180° 以外のピークが明瞭になる。生成部 2 1 b は、このように、角度毎の周波数成分の和に基づき、畳み込み演算を用いて移動平均を算出して

もよい。

[0062] 次に、様々な撮像条件におけるオートフォーカス支援装置1によるフィルタリング例を示す。図21～図26は、第2画像及びフィルタリング後の第2画像の例を示す図である。

[0063] 図21は、5倍の対物レンズを用いてInGaAsカメラにより撮像された第2画像、及びフィルタリング後の第2画像を示す図である。画像P17は、焦点位置が基板の裏面D1と表面D2との間の位置に合焦した状態で撮像された第2画像である。画像P171は、画像P17を基に生成されたフィルタリング後の第2画像である。画像P172は、焦点位置がデバイスパターンに合焦した状態で撮像された第2画像である。画像P173は、画像P172を基に生成されたフィルタリング後の第2画像である。画像P174は、焦点位置がデバイスパターンから遠方の位置に合焦した状態で撮像された第2画像である。画像P175は、画像P174を基に生成されたフィルタリング後の第2画像である。画像P17、画像P172及び画像P174のそれぞれには、研磨傷と共に、デバイスパターンが現れている。画像P171、画像P173及び画像P175は、それぞれフィルタリング前の画像P17、画像P172及び画像P174と比較して、研磨傷のパターンが低減されている。

[0064] 図22は、20倍の対物レンズを用いてInGaAsカメラにより撮像された第2画像、及びフィルタリング後の第2画像を示す図である。画像P18は、焦点位置が基板の裏面D1と表面D2との間の位置に合焦した状態で撮像された第2画像である。画像P181は、画像P18を基に生成されたフィルタリング後の第2画像である。画像P182は、焦点位置がデバイスパターンに合焦した状態で撮像された第2画像である。画像P183は、画像P182を基に生成されたフィルタリング後の第2画像である。画像P184は、焦点位置がデバイスパターンから遠方の位置に合焦した状態で撮像された第2画像である。画像P185は、画像P184を基に生成されたフィルタリング後の第2画像である。画像P18、画像P182及び画像P1

84のそれぞれには、研磨傷と共に、デバイスパターンが現れている。画像P181、画像P183及び画像P185は、それぞれフィルタリング前の画像P18、画像P182及び画像P184と比較して、研磨傷のパターンが低減されている。

[0065] 図23は、100倍の対物レンズを用いてInGaAsカメラにより撮像された第2画像、及びフィルタリング後の第2画像を示す図である。画像P19は、焦点位置が基板の裏面D1と表面D2との間の位置に合焦した状態で撮像された第2画像である。画像P191は、画像P19を基に生成されたフィルタリング後の第2画像である。画像P192は、焦点位置がデバイスパターンに合焦した状態で撮像された第2画像である。画像P193は、画像P192を基に生成されたフィルタリング後の第2画像である。画像P194は、焦点位置がデバイスパターンから遠方の位置に合焦した状態で撮像された第2画像である。画像P195は、画像P194を基に生成されたフィルタリング後の第2画像である。画像P19、画像P192及び画像P194のそれぞれには、僅かな研磨傷と共に、デバイスパターン及び黒い点（ゴミ等）が現れている。画像P191、画像P193及び画像P195は、それぞれフィルタリング前の画像P19、画像P192及び画像P194と比較して、研磨傷のパターン、及び各画像中央の黒い点に起因するノイズが低減されている。

[0066] 図24は、5倍の対物レンズを用いてレーザ顕微鏡により撮像された第2画像、及びフィルタリング後の第2画像を示す図である。画像P20は、焦点位置が基板の裏面D1と表面D2との間の位置に合焦した状態で撮像された第2画像である。画像P201は、画像P20を基に生成されたフィルタリング後の第2画像である。画像P202は、焦点位置がデバイスパターンに合焦した状態で撮像された第2画像である。画像P203は、画像P202を基に生成されたフィルタリング後の第2画像である。画像P204は、焦点位置がデバイスパターンから遠方の位置に合焦した状態で撮像された第2画像である。画像P205は、画像P204を基に生成されたフィルタリ

ング後の第2画像である。画像P20、画像P202及び画像P204のそれぞれには、研磨傷と共に、デバイスパターンが現れている。画像P201、画像P203及び画像P205は、それぞれフィルタリング前の画像P20、画像P202及び画像P204と比較して、研磨傷のパターンが低減されている。

[0067] 図25は、20倍の対物レンズを用いてレーザ顕微鏡により撮像された第2画像、及びフィルタリング後の第2画像を示す図である。画像P21は、焦点位置が基板の裏面D1と表面D2との間の位置に合焦した状態で撮像された第2画像である。画像P211は、画像P21を基に生成されたフィルタリング後の第2画像である。画像P212は、焦点位置がデバイスパターンに合焦した状態で撮像された第2画像である。画像P213は、画像P212を基に生成されたフィルタリング後の第2画像である。画像P214は、焦点位置がデバイスパターンから遠方の位置に合焦した状態で撮像された第2画像である。画像P215は、画像P214を基に生成されたフィルタリング後の第2画像である。画像P21、画像P212及び画像P214のそれぞれには、研磨傷と共に、デバイスパターンが現れている。画像P211、画像P213及び画像P215は、それぞれフィルタリング前の画像P21、画像P212及び画像P214と比較して、研磨傷のパターンが低減されている。

[0068] 図26は、100倍の対物レンズを用いてレーザ顕微鏡により撮像された第2画像、及びフィルタリング後の第2画像を示す図である。画像P22は、焦点位置が基板の裏面D1と表面D2との間の位置に合焦した状態で撮像された第2画像である。画像P221は、画像P22を基に生成されたフィルタリング後の第2画像である。画像P222は、焦点位置がデバイスパターンに合焦した状態で撮像された第2画像である。画像P223は、画像P222を基に生成されたフィルタリング後の第2画像である。画像P224は、焦点位置がデバイスパターンから遠方の位置に合焦した状態で撮像された第2画像である。画像P225は、画像P224を基に生成されたフィル

タリング後の第2画像である。画像P 2 2、画像P 2 2 2及び画像P 2 2 4のそれぞれには、僅かな研磨傷と共に、デバイスパターンが現れている。画像P 2 2 1、画像P 2 2 3及び画像P 2 2 5は、それぞれフィルタリング前の画像P 2 2、画像P 2 2 2及び画像P 2 2 4と比較して、研磨傷のパターンが低減されている。

[0069] 本実施形態に係るオートフォーカス支援方法について図27を参照しながら説明する。図27は、オートフォーカス支援装置1の動作手順の一例を示すフローチャートである。

[0070] オートフォーカス支援装置1の画像取得部21aは、基板に焦点が合った第1画像を取得する（ステップS1；画像取得ステップ）。

[0071] オートフォーカス支援装置1の生成部21bは、フーリエ変換によって、第1画像から空間周波数画像を取得し、空間周波数画像に基づいて基板上の線状パターンをマスクするマスクデータを生成する（ステップS2；生成ステップ）。

[0072] オートフォーカス支援装置1の処理部21cは、基板の裏面D1側において、撮像装置10の焦点位置を変化させながら撮像装置10を用いて撮像された複数の第2画像を取得し、第2画像に対してマスクデータを用いてフィルタリングを実行する（ステップS3；処理ステップ）。

[0073] オートフォーカス支援装置1の焦点調整部21dは、フィルタリング後の第2画像に基づいて、デバイスパターンに撮像装置10の焦点を合わせる（ステップS4；焦点調整ステップ）。

[0074] ステップS1に関連して、画像取得部21aは、撮像装置10により撮像された第1画像を取得してもよいし、他のシステム又は装置等から第1画像を取得してもよい。

[0075] 撮像装置10は、基板の厚さ及び対物レンズ等の条件に応じて構成が変更されてもよい。例えば、厚い基板を有する半導体デバイスDに対し、NAが高くDOFが浅い対物レンズを用いた焦点調整を行う場合、撮像装置10は、 $1.0\mu\text{m}$ 以上の波長を有する赤外光照明を用いたInGaAsカメラ、

又は $1.3\mu\text{m}$ の波長を有するレーザ光を用いたレーザ顕微鏡等により構成されてもよい。赤外光又はレーザ光は、半導体デバイスDの基板を透過する。対物レンズのNAが高くDOFが浅いため、InGaAsカメラ又はレーザ顕微鏡により取得された第1画像には、デバイスパターンがほとんど現れず、裏面D1に形成された研磨傷のパターンが明瞭に現れ得る。この場合、基板上の線状パターンが空間周波数画像上に現れやすくなる。その結果、マスクデータがより適切に生成されるため、第2画像における線状パターンをより低減させることができる。

[0076] 薄い基板を有する半導体デバイスDに対し、NAが低くDOFが深い対物レンズを用いた焦点調整を行う場合、撮像装置10は、可視光照明を用いたCCDカメラと、 $1.3\mu\text{m}$ の波長を有するレーザ光を用いたレーザ顕微鏡との組合せ等により構成されてもよい。CCDカメラにより第1画像が取得され、レーザ顕微鏡により第2画像が取得されてもよい。可視光は、半導体デバイスDの基板を透過しないため、CCDカメラにより取得された第1画像には、デバイスパターンが現れず、裏面D1に形成された研磨傷のパターンが明瞭に現れ得る。この場合、基板上の線状パターンが空間周波数画像上に現れやすくなる。その結果、マスクデータがより適切に生成されるため、第2画像における線状パターンをより低減させることができる。

[0077] あるいは、薄い基板を有する半導体デバイスDに対し、NAが低くDOFが深い対物レンズを用いた焦点調整を行う場合、撮像装置10は、 $1.0\mu\text{m}$ 以上の波長を有する赤外光照明を用いたInGaAsカメラ、又は $1.3\mu\text{m}$ の波長を有するレーザ光を用いたレーザ顕微鏡等により構成されてもよい。ステップS1の処理は、対物レンズをNAが高くDOFが浅い対物レンズに切り替えた上で撮像された第1画像が取得されてもよい。赤外光又はレーザ光は、半導体デバイスDの基板を透過する。対物レンズのNAが高くDOFが浅いため、InGaAsカメラ又はレーザ顕微鏡により取得された第1画像には、デバイスパターンがほとんど現れず、裏面D1に形成された研磨傷のパターンが明瞭に現れ得る。この場合、基板上の線状パターンが空間

周波数画像上に現れやすくなるため、マスクデータがより適切に生成される。そして、ステップS4の処理は、対物レンズをNAが低くDOFが深い対物レンズに切り替えた上で実行されてもよい。NAが低くDOFが深い対物レンズを用いた焦点調整を行う場合であっても、マスクデータが適切に生成されているため、第2画像における線状パターンをより低減させることができる。

[0078] 以上説明したオートフォーカス支援方法、オートフォーカス支援装置1、及びオートフォーカス支援プログラムによれば、基板に焦点が合った第1画像から空間周波数画像が取得され、空間周波数画像に基づいて基板上の同一方向の線状パターンをマスクするマスクデータが生成される。そして、基板の裏面D1（他方の主面）側において、焦点位置を変化させながら撮像された画像である、マスクデータによりフィルタリング後の第2画像を用いて処理することによって、基板の表面D2（一方の主面）側に形成されたデバイスパターンに焦点が合わせられる。この場合、第2画像における同一方向の線状パターンが低減される。このような第2画像に基づいて焦点の調整がなされることにより、半導体デバイスD内のデバイスパターンに対するオートフォーカスの精度を向上させることができる。

[0079] オートフォーカス支援方法においては、生成ステップは、基板の裏面D1側に形成された研磨傷のパターンに対応した第1空間周波数領域を基にしてマスクデータを生成してもよい。この場合、第2画像における研磨傷のパターンが低減される。このような第2画像に基づいて焦点の調整がなされることにより、半導体デバイスD内のデバイスパターンに対するオートフォーカスの精度をさらに向上させることができる。

[0080] オートフォーカス支援方法においては、生成ステップは、空間周波数画像に基づいて第1空間周波数領域とデバイスパターンを含む第2空間周波数領域とを識別してもよい。この場合、第2画像では研磨傷のパターンがより精緻に低減される。このような第2画像に基づいて焦点の調整がなされることにより、半導体デバイスD内のデバイスパターンに対するオートフォーカス

の精度をさらに向上させることができる。

[0081] オートフォーカス支援方法においては、生成ステップは、空間周波数画像の中心軸に対する複数の角度の領域毎に周波数成分の和を算出し、複数の角度の領域毎の周波数成分の和に基づいて、複数の角度の領域のうちから、第1空間周波数領域を識別してもよい。この場合、マスクデータの角度を特定する精度が向上するため、第2画像における研磨傷のパターンをより低減させることができる。

[0082] オートフォーカス支援方法においては、画像取得ステップは、基板の裏面D1に焦点が合った第1画像を取得してもよい。この場合、基板上の線状パターンが空間周波数画像上に現れやすくなる。その結果、マスクデータがより適切に生成されるため、第2画像における線状パターンをより低減させることができる。

[0083] 図28～図31を参照しながら、比較例に係るオートフォーカス機能を説明する。比較例は、従来のオートフォーカス機能を有する装置（以下「従来装置」という。）を用いて、半導体デバイスの基板の裏面側からオートフォーカスを実施した例である。

[0084] 図28は、比較例に係るオートフォーカス機能を説明するための画像を示す図である。画像E1～画像E5は、従来装置の焦点位置を変化させながら従来装置により撮像された画像を示す。具体的には、画像E1は、焦点位置が基板の裏面から手前の位置に合焦した状態で撮像された画像である。画像E2は、焦点位置が基板の裏面に合焦した状態で撮像された画像である。画像E3は、焦点位置が基板の裏面と表面との間の位置に合焦した状態で撮像された画像である。画像E4は、焦点位置が基板の表面に形成されたデバイスパターンに合焦した状態で撮像された画像である。画像E5は、焦点位置がデバイスパターンから遠方の位置に合焦した状態で撮像された画像である。

[0085] 図29は、比較例に係るオートフォーカス機能を説明するためのグラフである。グラフEG1において、横軸が対物レンズの高さを示し、縦軸がオー

トフォーカス指標値（コントラスト値）を示す。グラフEG1において、プロットされたマーカC1は図28に示される画像E1を基に算出されたオートフォーカス指標値を示す。同様に、マーカC2、C3、C4及びC5は、それぞれ図28に示される画像E2、E3、E4及びE5を基に算出されたオートフォーカス指標値を示す。グラフEG1には、マーカC2及びC4においてオートフォーカス指標値の極大値が現れている。

[0086] 図30は、比較例に係るオートフォーカス指標値の二つの極大値間の影響を説明するためのグラフである。グラフEG2～グラフEG7は、基板の厚さ毎に基板裏面に形成された研磨傷のパターンに起因するオートフォーカス指標値のピーク（以下、「裏面ピーク」という。）が、デバイス面のオートフォーカス指標値のピーク（以下、「デバイス面ピーク」という。）に与える影響をシミュレーションした結果を示すグラフである。グラフEG2～グラフEG7において、横軸がZステージ座標を示し、縦軸がオートフォーカス指標値を示す。また、グラフEG2～グラフEG7は、それぞれ50 μm 、40 μm 、30 μm 、20 μm 、15 μm 、10 μm の基板の厚さの場合におけるシミュレーション結果を示す。シミュレーションの条件は、NA＝0.4、DOF＝4.1 μm の20倍の対物レンズを用いた撮影、裏面ピーク／デバイス面ピーク＝1.0（ピークの高さが同一）、信号形状＝ガウス分布、基板屈折率＝3.5である。また、デバイス面ピークはZステージ座標＝0の位置に固定されている。

[0087] 例えばグラフEG2に示されるように、基板が厚い場合は裏面ピークとデバイス面ピークとが分離されるため、裏面パターンがデバイス面ピークに与える影響は無視できる。グラフEG3～グラフEG7への変化に示されるように、基板が薄くなるにつれて裏面ピークとデバイス面ピークとが混ざり合う。その結果、基板が薄くなるにつれて裏面ピークがデバイス面ピークに及ぼす影響が大きくなり、デバイス面ピークが裏面ピーク側にシフトする。

[0088] 図31は、比較例に係るシフト量の計算結果を示すグラフである。グラフEG8は、図30に示されるシミュレーション結果に基づくシフト量の計算

結果を示すグラフである。シフト量は、基板が $14\mu\text{m}$ の時に最大の $0.65\mu\text{m}$ となる。シフト量の最大値 0.65 と、 20 倍の対物レンズ($\text{NA} = 0.4$ 、 $\text{DOF} = 4.1\mu\text{m}$)とに基づいて、 DOF に対するずれの割合は、「 $0.65 / 4.1$ 」により約 16% と計算される。 16% 分のずれた位置を基準として、より高い NA のレンズによってオートフォーカスを実行すると、適正な焦点探索初期値の設定に支障が生じ得る。したがって、比較例に係るオートフォーカス機能では、裏面ピークがデバイス面ピークに影響を及ぼすことにより、オートフォーカスの精度が低下し得る。これに対して、本実施形態では、第2画像における同一方向の線状パターンを低減することにより、裏面ピークがデバイス面ピークに及ぼす影響を抑制している。

[0089] 以上、本開示の種々の実施形態について説明したが、本開示は上記実施形態に限定されるものではなく、各請求項に記載した要旨を変更しない範囲で変形し、又は他のものに適用したものであってもよい。

[0090] 上記実施形態では、マスクデータの形状は直線状である例を説明したが、これに限られない。図32は、マスクデータのバリエーションを示す図である。図32の(a)部、(b)部、(c)部、及び(d)部は、それぞれマスクデータM1、M2、M3、M4を示す。マスクデータM1～マスクデータM4において、中央部に近接する領域が画像の低周波成分に対応しており、周縁部に近接する領域が画像の高周波成分に対応している。マスクデータM1は、上記実施形態と同様に、中央部を通り直線状に延伸しており、中央部と周縁部とのマスク幅が一定となる形状を有する。マスクデータM2は、マスク幅が周縁部から中央部にかけて徐々に細くなる形状を有する。マスクデータM3は、マスクデータM2に加えて中央部に環状のマスクが追加されている。環状のマスクは中央部の周囲を囲む。マスクデータM4は、マスクデータM3に対して周縁部においてマスクが追加されている。

[0091] 図33は、空間周波数画像の生成の一例を説明するための画像を示す図である。画像P23は、5倍の対物レンズ及び $1.3\mu\text{m}$ の波長を有するレーザー光を用いたレーザー顕微鏡により、基板の裏面D1に焦点が合った状態で撮

像された第1画像である。画像P231は、画像P23に対しフーリエ変換が実行されることによって生成された空間周波数画像である。

[0092] 図34は、フィルタリング処理の一例を説明するための画像を示す図である。画像P232は、図33に示される画像P231上にマスクデータM1を重ねて表示した画像である。画像P233は、画像P232に対しフーリエ逆変換が実行されることにより生成されたフィルタリング後の画像である。画像P233は、裏面D1に形成された研磨傷のパターンが低減されると共に、巨視的な明暗の変化が消去される。また、マスクデータM1により0次項もマスキングされるため、画像P233は全体的に輝度のオフセットが低下する。すなわち、画像P233は、フィルタリング前の画像P23（図33参照）と比較して全体的に暗い。

[0093] 図35は、フィルタリング処理の一例を説明するための画像を示す図である。画像P234は、図33に示される画像P231上にマスクデータM2を重ねて表示した画像である。画像P235は、画像P234に対しフーリエ逆変換が実行されることにより生成されたフィルタリング後の画像である。画像P235は、フィルタリング前の画像P23（図33参照）と比較して、裏面D1に形成された研磨傷のパターンが低減されている。マスクデータM2を適用したフィルタリング処理は、低周波成分をマスキングしないため、画像P235には低周波成分が残る。その結果、フィルタリング前後で全体的な輝度が保たれる。

[0094] 図36は、フィルタリング処理の一例を説明するための画像を示す図である。画像P236は、図33に示される画像P231上にマスクデータM3を重ねて表示した画像である。画像P237は、画像P236に対しフーリエ逆変換が実行されることにより生成されたフィルタリング後の画像である。画像P237は、フィルタリング前の画像P23（図33参照）と比較して、裏面D1に形成された研磨傷のパターンが低減されている。マスクデータM3を適用したフィルタリング処理は、マスクデータM2の効果に加え、画像にシェーディング又はうねり等のように巨視的な不均一な特徴が含まれ

ている場合に、該特徴を消去することができる。

[0095] 図37は、フィルタリング処理の一例を説明するための画像を示す図である。画像P238は、図33に示される画像P231上にマスクデータM4を重ねて表示した画像である。画像P239は、画像P238に対しフーリエ逆変換が実行されることにより生成されたフィルタリング後の画像である。画像P239は、フィルタリング前の画像P23（図33参照）と比較して、裏面D1に形成された研磨傷のパターンが低減されている。マスクデータM4を適用したフィルタリング処理は、マスクデータM3の効果に加え、デバイスパターンよりも高周波成分のノイズを消去することができる。

[0096] 上記実施形態においては、生成ステップは、基板の他方の主面側に形成された研磨傷のパターンに対応した第1空間周波数領域を基にしてマスクデータを生成してもよい。この場合、第2画像における研磨傷のパターンが低減される。このような第2画像に基づいて焦点の調整がなされることにより、半導体デバイス内のデバイスパターンに対するオートフォーカスの精度をさらに向上させることができる。

[0097] 上記実施形態においては、生成ステップは、空間周波数画像に基づいて第1空間周波数領域とデバイスパターンを含む第2空間周波数領域とを識別してもよい。この場合、第2画像における研磨傷のパターンがより精緻に低減される。このような第2画像に基づいて焦点の調整がなされることにより、半導体デバイス内のデバイスパターンに対するオートフォーカスの精度をさらに向上させることができる。

[0098] 上記実施形態においては、生成ステップは、空間周波数画像の中心軸に対する複数の角度の領域毎に周波数成分の和を算出し、複数の角度の領域毎の周波数成分の和に基づいて、複数の角度の領域のうちから、第1空間周波数領域を識別してもよい。この場合、マスクデータの角度を特定する精度が向上するため、第2画像における研磨傷のパターンをより低減させることができる。

[0099] 上記実施形態においては、画像取得ステップは、基板の他方の主面に焦点

が合った第1画像を取得してもよい。この場合、基板上の線状パターンが空間周波数画像上に現れやすくなる。その結果、マスクデータがより適切に生成されるため、第2画像における線状パターンをより低減させることができる。

符号の説明

[0100] 1…オートフォーカス支援装置、10…撮像装置、11…光源、12…光学系、13…XYZステージ、14…光検出器、21…計算機、21a…画像取得部、21b…生成部、21c…処理部、21d…焦点調整部、22…表示部、23…入力部、30…サンプルステージ、D…半導体デバイス、D1…裏面、D2…表面。

請求の範囲

- [請求項1] 基板と、前記基板の一方の主面側に形成されたデバイスパターンとを有する半導体デバイスに対するオートフォーカスを支援する方法であって、
- 前記基板に焦点が合った第1画像を取得する画像取得ステップと、
- フーリエ変換によって、前記第1画像から空間周波数画像を取得し、前記空間周波数画像に基づいて前記基板上の同一方向の線状パターンをマスクするマスクデータを生成する生成ステップと、
- 前記基板の他方の主面側において、撮像装置の焦点位置を変化させながら前記撮像装置を用いて撮像された複数の第2画像を取得し、前記第2画像に対してマスクデータを用いてフィルタリングを実行する処理ステップと、
- フィルタリング後の前記第2画像に基づいて、前記デバイスパターンに前記撮像装置の焦点を合わせる焦点調整ステップと、
- を備えるオートフォーカス支援方法。
- [請求項2] 前記生成ステップは、前記基板の他方の主面側に形成された研磨傷のパターンに対応した第1空間周波数領域を基にして前記マスクデータを生成する、請求項1に記載のオートフォーカス支援方法。
- [請求項3] 前記生成ステップは、前記空間周波数画像に基づいて前記第1空間周波数領域と前記デバイスパターンを含む第2空間周波数領域とを識別する、請求項2に記載のオートフォーカス支援方法。
- [請求項4] 前記生成ステップは、前記空間周波数画像の中心軸に対する複数の角度の領域毎に周波数成分の和を算出し、前記複数の角度の領域毎の前記周波数成分の和に基づいて、前記複数の角度の領域のうちから、前記第1空間周波数領域を識別する、請求項2又は3に記載のオートフォーカス支援方法。
- [請求項5] 前記画像取得ステップは、前記基板の他方の主面に焦点が合った前記第1画像を取得する、請求項1～4のいずれか一項に記載のオート

フォーカス支援方法。

[請求項6]

基板と、前記基板の一方の主面側に形成されたデバイスパターンとを有する半導体デバイスを載置するステージと、

前記半導体デバイスに光を照射するための光源、及び、前記半導体デバイスからの光を検出する光検出器を有する撮像装置と、

前記ステージと前記撮像装置との相対位置を制御する制御部と、を備え、

前記制御部は、

前記基板に焦点が合った第1画像を取得する画像取得部と、

フーリエ変換によって、前記第1画像から空間周波数画像を取得し、前記空間周波数画像に基づいて前記基板上の同一方向の線状パターンをマスクするマスクデータを生成する生成部と、

前記基板の他方の主面側において、前記撮像装置の焦点位置を変化させながら前記撮像装置を用いて撮像された複数の第2画像を取得し、前記第2画像に対してマスクデータを用いてフィルタリングを実行する処理部と、

フィルタリング後の前記第2画像に基づいて、前記デバイスパターンに前記撮像装置の焦点を合わせる焦点調整部と、

を有するオートフォーカス支援装置。

[請求項7]

基板と、前記基板の一方の主面側に形成されたデバイスパターンとを有する半導体デバイスに対するオートフォーカスを支援するためのオートフォーカス支援プログラムであって、

コンピュータを、

前記基板に焦点が合った第1画像を取得する画像取得部と、

フーリエ変換によって、前記第1画像から空間周波数画像を取得し、前記空間周波数画像に基づいて前記基板上の同一方向の線状パターンをマスクするマスクデータを生成する生成部、

前記基板の他方の主面側において、撮像装置の焦点位置を変化させ

ながら前記撮像装置を用いて撮像された複数の第2画像を取得し、前記第2画像に対してマスクデータを用いてフィルタリングを実行する処理部、及び、

フィルタリング後の前記第2画像に基づいて、前記デバイスパターンに前記撮像装置の焦点を合わせる焦点調整部、
として機能させるオートフォーカス支援プログラム。