明　細　書

発明の名称 ： 半導体検査方法及び半導体検査装置

技術分野

[0001]　本開示は、半導体検査方法及び半導体検査装置に関する。

背景技術

[0002]　従来、検査対象デバイス（ＤＵＴ：device　under　test）である半導体デバイスの画像に基づいて故障解析等を行う技術が知られている。例えば、特許文献１，２には、半導体デバイスからの反射光を撮像することで得られる光学画像を当該半導体デバイスのパターンを示すパターン画像として取得し、当該パターン画像と当該半導体デバイスのレイアウトを示すＣＡＤ画像等のレイアウト画像（設計画像）との位置合わせを行うことが開示されている。このような位置合わせを行うことで、例えば、検査装置により得られる半導体デバイスの故障解析画像（例えば、半導体デバイスの故障箇所を発光等によって示す発光画像）と当該半導体デバイスのレイアウト画像とを重ね合わせた重畳画像を得ることが可能となる。このような重畳画像を利用することにより、半導体デバイスにおける故障解析が容易となる。

先行技術文献

特許文献

[0003] 特許文献1：特開２００７－００３０６号公報

特許文献2：国際公開２０１５／０９８３４２号公報

発明の概要

発明が解決しようとする課題

[0004]　しかしながら、近年、半導体デバイスのパターンの微細化が進んでおり、半導体デバイスのパターンを高精度に認識可能な光学画像を得ることが難しくなってきている。このため、半導体デバイスから得られたパターン画像とレイアウト画像との位置合わせを精度良く行うことが困難な場合があった。

[0005]　そこで、本開示の一側面は、半導体デバイスから得られたパターン画像と

当該半導体デバイスのレイアウト画像とを精度良く位置合わせすることが可能な半導体検査方法及び半導体検査装置を提供することを目的とする。

課題を解決するための手段

[0006] 本開示の一側面に係る半導体検査方法は、半導体デバイスに対して光を走査することにより、光の照射に応じた半導体デバイスの電気信号の特性を示す特性情報を光の照射位置毎に取得し、照射位置毎の特性情報に基づいて、半導体デバイスの第１パターン画像を生成するステップと、半導体デバイスのレイアウトを示すレイアウト画像と半導体デバイスにおける電流経路を示す電流経路情報とに基づいて、半導体デバイスの第２パターン画像を生成するステップと、第１パターン画像と第２パターン画像との位置合わせの結果に基づいて、第１パターン画像とレイアウト画像との相対関係を示すマッチング情報を取得するステップと、を含む。

[0007] 半導体デバイスに照射される光（例えばレーザ光）は一定の広がりを有しており、半導体デバイスへの入射光の半値全幅（ＦＷＨＭ：full width at half maximum）よりも半導体デバイスからの反射光の半値全幅の方が大きくなることが知られている。ここで、反射光に基づいて取得される光学画像の分解能（解像度）は観察される反射光の半値全幅に依存するのに対し、反射光に基づかない第１パターン画像の分解能は半導体デバイスへの入射光の半値全幅に依存する。また、光の半値全幅が小さい程、得られる画像の分解能は小さくなる。従って、光の照射に応じた半導体デバイスの電気信号の特性に基づいて第１パターン画像を生成することにより、反射光に基づいて取得される光学画像よりも高分解能の画像を得ることができる。さらに、レイアウト画像と半導体デバイスにおける電流経路とに基づいて得られる第２パターン画像と第１パターン画像との位置合わせの結果に基づいて、第１パターン画像とレイアウト画像との間の精度の高いマッチング情報を得ることができる。以上により、上記半導体検査方法によれば、半導体デバイスから得られたパターン画像（第１パターン画像）と当該半導体デバイスのレイアウト画像とを精度良く位置合わせすることができる。

[0008] 第２パターン画像を生成するステップは、半導体デバイスに含まれる拡散層の少なくとも一部及び素子分離層の少なくとも一部の少なくとも一方を電流経路情報に基づいて分類し、レイアウト画像中の拡散層の少なくとも一部及び素子分離層の少なくとも一部の少なくとも一方に対して分類に応じた色を設定する第１処理と、第１処理により生成された着色画像に基づいて第２パターン画像を生成する第２処理と、を含んでもよい。上記構成によれば、電流経路情報に基づいて着色された着色画像に基づいて、第１パターン画像との位置合わせを精度良く行うことが可能な第２パターン画像を得ることができる。

[0009] 第２処理は、着色画像に対するぼかし処理を含んでもよい。上記構成によれば、ぼかし処理により、第１パターン画像に似た第２パターン画像を得ることができる。その結果、１パターン画像との位置合わせを精度良く行うことが可能な第２パターン画像を得ることができる。

[0010] 第２処理は、学習用の着色画像と学習用の着色画像に対応する第１パターン画像とを含む教師データを用いた機械学習によって、着色画像の変換処理を学習する処理と、学習により決定された変換処理を用いて着色画像を変換することにより、第２パターン画像を生成する処理と、を含んでもよい。上記構成によれば、機械学習の結果に基づく変換処理により、第１パターン画像に似た第２パターン画像を得ることができる。その結果、第１パターン画像と第２パターン画像との位置合わせを精度良く行うことが可能となる。

[0011] マッチング情報を取得するステップは、第１パターン画像及び第２パターン画像をユーザに提示する処理と、ユーザにより指定された第１パターン画像と第２パターン画像との対応関係を示す情報に基づいて、マッチング情報を取得する処理と、を含んでもよい。上記構成によれば、目視による第１パターン画像及び第２パターン画像の位置合わせをユーザに実施させることができる。

[0012] マッチング情報を取得するステップは、学習用の第１パターン画像と、学習用の第１パターン画像に対応する第２パターン画像と、これらの画像のマ

ッチング結果とを含む教師データを用いた機械学習によって、第１パターン画像と第２パターン画像との位置合わせ処理を学習する処理と、学習により決定された位置合わせ処理を用いて第１パターン画像と第２パターン画像との位置合わせを行うことにより、マッチング情報を取得する処理と、を含んでもよい。上記構成によれば、機械学習の結果に基づく位置合わせ処理により、第１パターン画像と第２パターン画像との位置合わせを精度良く行うことが可能となる。

[0013] 半導体検査方法は、マッチング情報に基づいて、レイアウト画像と第１パターン画像とを重畳させた重畳画像を生成するステップを更に含んでもよい。上記構成によれば、マッチング情報に基づいて、レイアウト画像と第１パターン画像とを精度良く重畳させた重畳画像を得ることができる。その結果、重畳画像を用いた故障解析等を精度良く行うことが可能となる。

[0014] 半導体検査方法は、マッチング情報に基づいて、半導体デバイスに対する故障解析により特定された故障位置とレイアウト画像上の位置との同定、又は、半導体デバイスに対するプロービングの位置の設定を行うステップを更に含んでもよい。上記構成によれば、マッチング情報を用いることにより、故障解析（レイアウト画像上における故障位置の特定又はプロービング位置の設定）を精度良く行うことができる。

[0015] 第１パターン画像を生成するステップでは、半導体デバイスへの光の照射に応じて生じる光起電流の測定値を特性情報として取得してもよい。上記構成によれば、光起電流の測定値に応じた色合い（濃淡）が設定されたＯＢＩＣ（Optical Beam Induced Current）画像を第１パターン画像として得ることができる。

[0016] 半導体デバイスは、トランジスタが形成された主面と主面とは反対側の裏面とを有する半導体基板を有していてもよく、第１パターン画像を生成するステップでは、半導体基板の裏面に対して、裏面から主面側へと透過する光を照射してもよく、光は、半導体基板の材料のバンドギャップよりも高いエネルギーを有していてもよい。上記構成によれば、半導体基板の主面側のト

ランジスタにおいて、単一光子吸収（ＳＰＡ：Single Photon Absorption）を生じさせることで、ＯＢＩＣを好適に生成することができる。

[0017] 半導体デバイスは、トランジスタが形成された主面と主面とは反対側の裏面とを有する半導体基板を有していてもよく、第１パターン画像を生成するステップでは、半導体基板の裏面に対して、裏面から主面側へと透過するパルス光である光を照射してもよく、光は、半導体基板の材料のバンドギャップよりも低いエネルギーを有していてもよい。上記構成によれば、半導体基板の主面側のトランジスタにおいて、多光子吸収（ＭＰＡ：Multi Photon Absorption）を生じさせることで、ＯＢＩＣを好適に生成することができる。

[0018] 本開示の一側面に係る半導体検査装置は、光源と、半導体デバイスに対して光源からの光を走査する走査部と、半導体デバイスと電気的に接続され、光の照射位置毎に、光の照射に応じた半導体デバイスの電気信号の特性を測定する測定部と、測定部により測定された照射位置毎の電気信号の特性を示す特性情報に基づいて、半導体デバイスの第１パターン画像を生成する第１生成部と、半導体デバイスのレイアウトを示すレイアウト画像と半導体デバイスにおける電流経路を示す電流経路情報とに基づいて、半導体デバイスの第２パターン画像を生成する第２生成部と、第１パターン画像と第２パターン画像との位置合わせの結果に基づいて、第１パターン画像とレイアウト画像との相対関係を示すマッチング情報を取得する処理部と、を備える。

[0019] 上記半導体検査装置によれば、上述した半導体検査方法を好適に実行することができる。

[0020] 第２生成部は、半導体デバイスに含まれる拡散層の少なくとも一部及び素子分離層の少なくとも一部の少なくとも一方を電流経路情報に基づいて分類し、レイアウト画像中の拡散層の少なくとも一部及び素子分離層の少なくとも一部の少なくとも一方に対して分類に応じた色を設定する第１処理と、第１処理により生成された着色画像に基づいて第２パターン画像を生成する第２処理と、を実行してもよい。上記構成によれば、電流経路情報に基づいて

着色された着色画像に基づいて、第１パターン画像との位置合わせを精度良く行うことが可能な第２パターン画像を得ることができる。

[0021] 第２処理は、着色画像に対するぼかし処理を含んでもよい。上記構成によれば、ぼかし処理により、第１パターン画像に似た第２パターン画像を得ることができる。その結果、第１パターン画像との位置合わせを精度良く行うことが可能な第２パターン画像を得ることができる。

[0022] 第２処理は、学習用の着色画像と学習用の着色画像に対応する第１パターン画像とを含む教師データを用いた機械学習によって、着色画像の変換処理を学習する処理と、学習により決定された変換処理を用いて着色画像を変換することにより、第２パターン画像を生成する処理と、を実行してもよい。上記構成によれば、機械学習の結果に基づく変換処理により、第１パターン画像に似た第２パターン画像を得ることができる。その結果、１パターン画像と第２パターン画像との位置合わせを精度良く行うことが可能となる。

[0023] 処理部は、第１パターン画像及び第２パターン画像をユーザに提示する処理と、ユーザにより指定された第１パターン画像と第２パターン画像との対応関係を示す情報に基づいて、マッチング情報を取得する処理と、を実行してもよい。上記構成によれば、目視による第１パターン画像及び第２パターン画像の位置合わせをユーザに実施させることができる。

[0024] 処理部は、学習用の第１パターン画像と、学習用の第１パターン画像に対応する第２パターン画像と、これらの画像のマッチング結果とを含む教師データを用いた機械学習によって、第１パターン画像と第２パターン画像との位置合わせ処理を学習する処理と、学習により決定された位置合わせ処理を用いて第１パターン画像と第２パターン画像との位置合わせを行うことにより、マッチング情報を取得する処理と、を実行してもよい。上記構成によれば、機械学習の結果に基づく位置合わせ処理により、１パターン画像と第２パターン画像との位置合わせを精度良く行うことが可能となる。

[0025] 処理部は、マッチング情報に基づいて、レイアウト画像と第１パターン画像とを重畳させた重畳画像を生成してもよい。上記構成によれば、マッチン

グ情報に基づいて、レイアウト画像と第１パターン画像とを精度良く重畳させた重畳画像を得ることができる。その結果、重畳画像を用いた故障解析等を精度良く行うことが可能となる。

[0026] 処理部は、マッチング情報に基づいて、半導体デバイスに対する故障解析により特定された故障位置とレイアウト画像上の位置との同定、又は、半導体デバイスに対するプロービングの位置の設定を行ってもよい。上記構成によれば、マッチング情報を用いることにより、故障解析（レイアウト画像上における故障位置の特定又はプロービング位置の設定）を精度良く行うことができる。

[0027] 測定部は、半導体デバイスへの光の照射に応じて生じる光起電流の測定値を特性情報として取得してもよい。上記構成によれば、光起電流の測定値に応じた色合い（濃淡）が設定されたＯＢＩＣ（Optical Beam Induced Current）画像を第１パターン画像として得ることができる。

[0028] 半導体デバイスは、トランジスタが形成された主面と主面とは反対側の裏面とを有する半導体基板を有していてもよく、走査部は、半導体基板の裏面に対して、裏面から主面側へと透過する光を走査してもよく、光は、半導体基板の材料のバンドギャップよりも高いエネルギーを有していてもよい。上記構成によれば、半導体基板の主面側のトランジスタにおいて、単一光子吸収（ＳＰＡ：Single Photon Absorption）を生じさせることで、ＯＢＩＣを好適に生成することができる。

[0029] 半導体デバイスは、トランジスタが形成された主面と主面とは反対側の裏面とを有する半導体基板を有していてもよく、走査部は、半導体基板の裏面に対して、裏面から主面側へと透過するパルス光である光を走査してもよく、光は、半導体基板の材料のバンドギャップよりも低いエネルギーを有していてもよい。上記構成によれば、半導体基板の主面側のトランジスタにおいて、多光子吸収（ＭＰＡ：Multi Photon Absorption）を生じさせることで、ＯＢＩＣを好適に生成することができる。

発明の効果

[0030] 本開示の一側面によれば、半導体デバイスから得られたパターン画像と当該半導体デバイスのレイアウト画像とを精度良く位置合わせすることが可能な半導体検査方法及び半導体検査装置を提供することが可能となる。

図面の簡単な説明

[0031] [図1]図１は、一実施形態に係る半導体検査装置の概略構成図である。

[図2]図２は、半導体デバイスの構成例を示す概略図である。

[図3]図３の（Ａ）及び（Ｂ）は、半導体デバイスの一部のレイアウトの一例を示す概略図である。

[図4]図４は、レイアウト画像の一例を示す図である。

[図5]図５は、ＯＢＩＣ画像（第１パターン画像）の一例を示す図である。

[図6]図６は、レーザ光の波長とＯＢＩＣ画像の分解能との関係、及びレーザ光の波長とシリコン基板の透過率との関係を示すグラフである。

[図7]図７は、ボックス設定画像の一例を示す図である。

[図8]図８は、着色画像の一例を示す図である。

[図9]図９は、ぼかし画像（第２パターン画像）の一例を示す図である。

[図10]図１０は、半導体検査装置の動作の一例を示すフローチャートである。

[図11]図１１は、半導体検査装置により生成される各画像の関係を示す図である。

[図12]図１２は、ＯＢＩＣ信号を取得するための第１構成例を示す概略図である。

[図13]図１３は、ＯＢＩＣ信号を取得するための第２構成例を示す概略図である。

[図14]図１４の（Ａ）はＯＢＩＣ信号を取得するための第３構成例を示す概略図であり、図１４の（Ｂ）はＯＢＩＣ信号を取得するための第４構成例を示す概略図である。

[図15]図１５は、ＯＢＩＣ信号を取得するための第５構成例を示す概略図である。

発明を実施するための形態

[0032] 以下、本開示の実施形態について、図面を参照して詳細に説明する。なお、図面の説明においては、同一要素には同一符号を付し、重複する説明を省略する。

よい。

[0033] 図１は、一実施形態に係る半導体検査装置１の概略構成図である。図２は、検査対象デバイスである半導体デバイス１０の構成例を示す概略図である。半導体デバイス１０は、例えば、ロジックＬＳＩ、メモリ、アナログ回路等のＩＣ（集積回路）、又はパワーデバイス等である。一例として、半導体デバイス１０は、半導体チップ１１と、パッケージ基板１２と、を有している。半導体チップ１１は、半導体基板１１Ａと、配線層１１Ｂと、バンプＢと、を有している。

[0034] 半導体基板１１Ａは、例えばＭＯＳトランジスタ等のトランジスタＴが形成された主面１１ａと、主面１１ａとは反対側の裏面１１ｂと、を有している。半導体基板１１Ａは、例えばシリコン基板である。ただし、半導体基板１１Ａの材料は、シリコンに限定されない。例えば、半導体デバイス１０が高周波デバイス、フォトニックデバイス等である場合には、ＧａＡｓ、ＧａＰ等の化合物半導体を半導体基板１１Ａの材料として用いることができる。また、半導体デバイス１０がパワーデバイスである場合には、ＳｉＣ、ＧａＮ等を半導体基板１１Ａの材料として用いることができる。

[0035] 配線層１１Ｂは、半導体基板１１Ａの主面１１ａ側において、トランジスタＴと電気的に接続される金属配線Ｗが配置される層である。バンプＢは、配線層１１Ｂの半導体基板１１Ａ側とは反対側の表面に設けられている。パッケージ基板１２は、半導体チップ１１が搭載される配線基板である。パッケージ基板１２は、バンプＢを介して半導体チップ１１の配線層１１Ｂに設けられた金属配線Ｗと電気的に接続されている。パッケージ基板１２には、トランジスタＴの電源（V_{DD}）又はグランド（V_{SS}）に対応する端子１２ａが設けられている。

[0036] 図３は、半導体デバイス１０の一部（半導体基板１１Ａの主面１１ａ付近の部分）のレイアウトの一例を示す概略図である。図３の（Ａ）は、半導体基板１１Ａを主面１１ａに対向する方向から見た概略平面図である。図３の（Ｂ）は、図３の（Ａ）におけるＢ－Ｂ線に沿った概略断面図である。図３の（Ｃ）は、図３の（Ａ）におけるＣ－Ｃ線に沿った概略断面図である。図３の（Ａ），（Ｂ），（Ｃ）に示されるように、半導体基板１１Ａの主面１１ａには、第１導電型の拡散層１１ｃ１，１１ｃ２（１１ｃ）と、拡散層１１ｃを分離するための絶縁層１１ｄと、が形成されている。拡散層１１ｃは、不純物が拡散された領域である。ここでは一例として、拡散層１１ｃ１はｎ型不純物が拡散された領域であり、拡散層１１ｃ２はｐ型不純物が拡散された領域である。図３に示したパターンは、半導体デバイス１０における一つのセル列を抜き出したものである。絶縁層１１ｄは、図３における横方向に対応するセル列方向に配置されたそれぞれの素子間を分離する素子分離層１１ｄ１を含んでいる。絶縁層１１ｄは、例えばＳｉＯ２等によって形成されている。図３の（Ｃ）に示されるように、拡散層１１ｃは、一般的にフィンと呼ばれる複数の峰状の形状を有している。フィンの上部には、拡散層１１ｃとは異なる不純物が、イオン打ち込み等によって注入されている。ここでは一例として、拡散層１１ｃ１の上部に所定濃度のｐ型不純物が注入されており、拡散層１１ｃ２の上部に所定濃度のｎ型不純物が注入されている。このようにして、第２導電型のフィン部１４ａ，１４ｂ（１４）が形成されている。本実施形態では一例として、半導体デバイス１０は、７ｎｍプロセスで製造されたデバイス（７ｎｍデバイス）であり、隣り合うゲート１３同士の間隔は、例えば数十ｎｍ程度である。このようにフィン部１４を跨ぐように形成されたゲート１３に電圧が印加されることにより、フィン部１４及びゲート１３を含む部分が、半導体デバイス１０におけるトランジスタＴとして機能する。このような構造を有するトランジスタＴは、フィン型電界効果トランジスタ（ＦｉｎＦＥＴ：Fin Field-Effect Transistor）と呼ばれている。拡散層１１ｃ１（ｎ型不純物が拡散された領域）とその上に形成さ

れたフィン部１４ａ（ｐ型不純物が注入された領域）とは、ｐ型トランジスタ（ＰＭＯＳ）として動作する。一方、拡散層１１ｃ２（ｐ型不純物が拡散された領域）とその上に形成されたフィン部１４ｂ（ｎ型不純物が注入された領域）とは、ｎ型トランジスタ（ＮＭＯＳ）として動作する。フィン部１４を跨ぐゲート１３以外に、素子分離層１１ｄ１上にもゲート１３ａが形成されているが、このゲート１３ａは、本来のゲートとしての機能を有しておらず、ダミーゲートと呼ばれる。フィン部１４は、ビアＶ（コンタクトとも呼ばれる）を介して、金属配線Ｗ（メタル第１層）と電気的に接続されている。これにより、各フィン部１４は、ビアＶ（コンタクト）及び金属配線Ｗを介して、電源（V_{DD}）、グランド（V_{SS}）、又は他のトランジスタＴを構成するゲート１３に電気的に接続されている。

[0037] 半導体検査装置１は、レーザ光源２（光源）と、レーザ走査部３（走査部）と、アンプ４（測定部）と、コンピュータ５と、入力装置６と、表示装置７と、を備えている。レーザ光源２及びレーザ走査部３は、半導体デバイス１０に対して、刺激光であるレーザ光Ｌを照射及び走査する光学系を構成している。レーザ光源２は、レーザ光Ｌを出射する光源である。レーザ走査部３は、半導体デバイス１０に対して、レーザ光源２から出射されたレーザ光Ｌを２次元的に走査する。レーザ走査部３は、例えばガルバノミラー、ＭＥＭＳミラー等によって構成されている。レーザ走査部３は、半導体基板１１Ａの裏面１１ｂに対して、裏面１１ｂから主面１１ａ側へと透過するレーザ光Ｌを走査するように構成されている。レーザ光Ｌの焦点は、半導体基板１１Ａの主面１１ａ（すなわち、トランジスタＴが形成されている領域）付近に調整される。図１に示されるように、半導体基板１１Ａの裏面１１ｂ上には、固浸レンズ（ＳＩＬ：Solid immersion lens）８が配置されてもよい。すなわち、レーザ光Ｌは、固浸レンズ８を介して、半導体基板１１Ａの裏面１１ｂに対して照射されてもよい。固浸レンズ８が配置される場合には、固浸レンズ８が配置されない場合よりも、半導体基板１１Ａの裏面１１ｂに照射されるレーザ光Ｌの開口数（ＮＡ：Numerical Aperture）を大きくする

ことができる。

[0038] レーザ光源２は、例えば、半導体基板１１Ａの材料（本実施形態ではシリコン）のバンドギャップ（シリコンの場合には１．１２ｅＶ）よりも高いエネルギーを有するレーザ光Ｌを出射するように構成されていてもよい。すなわち、レーザ光Ｌは、シリコンのバンドギャップ（エネルギーギャップ）に対応する波長（１１０７ｎｍ）よりも短い波長の光であってもよい。この場合、半導体基板１１Ａの主面１１ａ側のトランジスタＴ（例えば、ｐｎ接合部）において、単一光子吸収（ＳＰＡ：Single Photon Absorption）を生じさせることで、光起電流（ＯＢＩＣ：Optical Beam Induced Current）を好適に生成することができる。

[0039] 或いは、レーザ光源２は、例えば、半導体基板１１Ａの材料のバンドギャップよりも低いエネルギーを有するパルス光であるレーザ光Ｌを出射するように構成されていてもよい。すなわち、レーザ光Ｌは、シリコンのバンドギャップに対応する波長（１１０７ｎｍ）よりも長い波長のパルス光であってもよい。この場合、半導体基板１１Ａの主面１１ａ側のトランジスタＴ（例えば、ｐｎ接合部）において、例えば特開平１０－３３２７９４号公報に記載されているような多光子吸収（ＭＰＡ：Multi Photon Absorption）を生じさせることで、ＯＢＩＣを好適に生成することができる。

[0040] アンプ４は、レーザ光Ｌの照射位置毎に、レーザ光Ｌの照射に応じた半導体デバイス１０の電気信号の特性を測定する。本実施形態では、アンプ４は、レーザ光Ｌの照射に応じて半導体デバイス１０で発生したＯＢＩＣの測定値（ＯＢＩＣ信号）を上記電気信号の特性として取得する。アンプ４は一対の端子４ａ，４ｂを有している。アンプ４の一方の端子４ａは、トランジスタＴのドレイン側の電源（V_{DD}）に対応するパッケージ基板１２の端子１２ａと電気的に接続されている。アンプ４の他方の端子４ｂは、トランジスタＴのソース側のグランド（V_{SS}）に対応するパッケージ基板１２の端子１２ａと電気的に接続されている。アンプ４は、レーザ光Ｌによって生じたＯＢＩＣを検出及び増幅することにより得られた測定値（ＯＢＩＣ信号）をコン

ピュータ５に入力する。

[0041] コンピュータ５は、後述する種々の画像処理、及びアンプ４から入力されたＯＢＩＣ信号の処理、半導体検査装置１を構成する各部の制御等を行う装置である。コンピュータ５は、例えば、プロセッサ（例えばＣＰＵ等）、内蔵メモリ（例えばＲＯＭ、ＲＡＭ等）、記憶媒体（例えばＨＤＤ、ＳＳＤ等）等を備えている。コンピュータ５は、機能的構成要素として、記憶部５１と、第１生成部５２と、第２生成部５３と、画像処理部５４（処理部）と、制御部５５と、を有している。また、コンピュータ５には、コンピュータ５に対してデータを入力するためのマウス、キーボード等の入力装置６と、コンピュータ５による処理結果（画像等）を表示（出力）するためのディスプレイ等の表示装置７と、が接続されている。コンピュータ５の各機能は、例えば、上記プロセッサが上記内蔵メモリ又は上記記憶媒体に格納されたコンピュータプログラムを実行することによって実現される。

[0042] 記憶部５１は、検査対象の半導体デバイス１０のレイアウト画像を記憶する。図４は、レイアウト画像の一例（レイアウト画像Ｐ１）を示す図である。レイアウト画像Ｐ１は、例えば、外部から取得されたＣＡＤデータ等の半導体デバイス１０のパターンを示す設計画像である。また、記憶部５１は、レイアウト画像Ｐ１に対応する電流経路を示す電流経路情報を記憶する。電流経路情報は、例えば、レイアウト画像Ｐ１に示される各領域が配線層１１Ｂの金属配線Ｗを介して接続されている対象（接続対象）を示す情報である。このような電流経路（接続対象）の分類の例としては、例えば、電源（V_{DD}）、グランド（V_{SS}）、ゲート、接続先なしの４つが挙げられる。また、記憶部５１には、アンプ４から送られたＯＢＩＣ信号、後述する第１生成部５２、第２生成部５３、及び画像処理部５４の処理結果（画像等のデータ）等が適宜記憶される。

[0043] 第１生成部５２は、照射位置毎に得られた電気信号の特性を示す特性情報に基づいて、半導体デバイス１０の第１パターン画像を生成する。本実施形態では、特性情報は、アンプ４により測定されたＯＢＩＣ信号である。また

、第１パターン画像は、ＯＢＩＣ信号に基づいて得られるＯＢＩＣ画像である。ＯＢＩＣ画像は、ＯＢＩＣ信号の値をレーザ光Ｌが照射された位置に対応付けて画像化する（すなわち、ＯＢＩＣ信号の値を画素値に変換する）ことにより得られる画像である。本実施形態のＯＢＩＣ画像は、ＯＢＩＣの電流量が大きい領域ほど明るくなるように画素値が設定された画像である。図５は、半導体デバイス１０（７ｎｍデバイス）のＯＢＩＣ画像のイメージ図（ＯＢＩＣ画像Ｐ２）である。具体的には、図５に示されるＯＢＩＣ画像Ｐ２は、本発明者が４０ｎｍプロセスで製造された半導体デバイスのＯＢＩＣ画像から類推することによって作成した画像である。

[0044] 図６は、レーザ光Ｌの波長と得られるＯＢＩＣ画像の分解能との関係、及びレーザ光Ｌの波長とシリコン基板の透過率との関係を示すグラフである。図６において、破線は、シリコンのバンドギャップに対応する波長（１１０７ｎｍ）を示している。グラフＧ１は、単一光子吸収（ＳＰＡ）を生じさせた場合に得られるＯＢＩＣ画像の分解能を表している。グラフＧ２は、多光子吸収（ＭＰＡ）を生じさせた場合に得られるＯＢＩＣ画像の分解能を表している。図６に示されるように、ＭＰＡを生じさせた場合の分解能（Ｇ２）は、ＳＰＡを生じさせた場合の分解能（Ｇ１）の１／$\sqrt{2}$となることが知られている。また、グラフＧ３は、レーザ光Ｌの波長とシリコン基板（ここでは一例として、厚さが１００μｍのシリコン基板）の透過率との関係を示している。グラフＧ３に示されるように、シリコンのバンドギャップに対応する波長よりも長い波長のレーザ光ＬがＭＰＡでは、レーザ光Ｌのほぼ１００％がシリコン基板を透過することができるため、効率的なレーザ光Ｌの照射を実現することができる。具体的には、１０００ｎｍの波長のレーザ光Ｌを用いたＳＰＡでは、分解能が約１６０ｎｍであり、シリコン基板に対するレーザ光Ｌの透過率は約５０％である。これに対して、１３００ｎｍの波長のレーザ光Ｌ（パルス光）を用いたＭＰＡでは、１０００ｎｍの波長のレーザ光Ｌを用いたＳＰＡと同等以上の分解能（約１５０ｎｍ）が得られると共に、シリコン基板に対するレーザ光Ｌの透過率は約１００％となる

。従って、分解能の向上及びレーザ光Ｌの照射効率の向上の両方を図る観点において、ＳＰＡよりもＭＰＡを生じさせるレーザ光Ｌ（すなわち、シリコンのバンドギャップよりも低いエネルギーを有するパルス光）を用いることが好ましい。一方、ＭＰＡに適用されるパルスレーザは、高い尖頭値を有する必要がある。このようなパルスレーザとしては、例えばフェムト秒レーザと呼ばれる超短パルスレーザが挙げられる。このような特殊なレーザを用いる場合、安定度及び波長の選択範囲等の制限が加わる。また、レーザ自体も高額である。よって、半導体デバイス１０の装置価格（製造コスト）の低減を図る観点においては、ＭＰＡよりもＳＰＡを用いることが好ましい。ただし、十分な解析を行うために分解能を優先させる必要がある場合もある。従って、ＳＰＡとＭＰＡとのいずれの方式を搭載した装置を選択するかは、ユーザがどのような半導体デバイス１０に対してどの程度詳細な解析を行う必要があるかに応じて決定され得る。

[0045] ここで、レーザ光Ｌの照射によって電子－正孔対が発生するのはｐｎ接合部である。そして、ｐｎ接合部のうちＯＢＩＣが最も流れ易い部分は、電源（V_{DD}）又はグランド（V_{SS}）に接続された部分である。ｐｎ接合部のうちゲートに接続された部分においても、ゲートからのリークによって若干のＯＢＩＣが流れる。一方、ｐｎ接合部のうちどこにも接続されていない部分においては、ＯＢＩＣはほとんど流れない。また、ダミーゲート１３ａが設けられた素子分離層１１ｄ１の一部（ダミーゲート１３ａと重なる部分を除いた部分）においては、ＯＢＩＣは流れたとしても非常に僅かである。このように、半導体デバイス１０では、上述した電流経路の分類毎に、ＯＢＩＣの電流量が異なっている。そして、このような電流量の違いによって、ＯＢＩＣ画像Ｐ２において、領域毎の濃淡差が生じる。

[0046] そこで、第２生成部５３は、上述したＯＢＩＣ画像の性質に基づいて、レイアウト画像Ｐ１からＯＢＩＣ画像Ｐ２に類似する画像（第２パターン画像）を生成する。すなわち、第２生成部５３は、半導体デバイス１０のレイアウト画像Ｐ１と半導体デバイス１０の電流経路情報（本実施形態では、上述

した領域毎の電流経路（接続対象）の分類）とに基づいて、半導体デバイス１０の第２パターン画像を生成する。例えば、第２生成部５３は、後述する第１処理及び第２処理を実施する。

[0047]（第１処理）

第１処理は、分類処理と色設定処理とを含んでいる。分類処理は、半導体デバイス１０に含まれる拡散層１１ｃの少なくとも一部及び素子分離層１１ｄ１の少なくとも一部を電流経路情報に基づいて分類する処理である。色設定処理は、レイアウト画像Ｐ１中の拡散層１１ｃの少なくとも一部及び素子分離層１１ｄ１の少なくとも一部に対して電流経路の分類に応じた色を設定する処理である。図７は、レイアウト画像Ｐ１に対する第１処理により生成されたボックス設定画像Ｐ３を示す図である。

[0048]（分類処理）

一例として、第２生成部５３は、分類処理において、拡散層１１ｃ（半導体基板１１Ａの厚さ方向から見て拡散層１１ｃが設けられた領域）のうち互いに隣り合うゲート１３間に矩形状のボックス領域ＢＡ（ＢＡ１，ＢＡ２，ＢＡ３）を設定する。同様に、第２生成部５３は、素子分離層１１ｄ１のうち互いに隣り合うゲート１３Ａ間に矩形状のボックス領域ＢＡ（ＢＡ４）を設定する。ボックス領域ＢＡ１～ＢＡ４は、上述した電流経路によって分類されている。具体的には、ボックス領域ＢＡ１は、電源（V_{DD}）又はグランド（V_{SS}）に接続された領域である。ボックス領域ＢＡ２は、ゲートに接続された領域である。ボックス領域ＢＡ３は、接続先がない領域（拡散層１１ｃにおいて孤立した領域）である。ボックス領域ＢＡ４は、素子分離層１１ｄ１において孤立した領域である。

[0049]（色設定処理）

続いて、第２生成部５３は、色設定処理において、各ボックス領域ＢＡ１～ＢＡ４に対して、電流経路の分類に応じた色を設定する。上述したように、各ボックス領域ＢＡ１～ＢＡ４に対応するＯＢＩＣの電流量の大小関係は、「ＢＡ１＞ＢＡ２＞ＢＡ３＞ＢＡ４」となる。このため、ＯＢＩＣ画像Ｐ

２では、ボックス領域ＢＡ１に対応する領域よりもボックス領域ＢＡ２に対応する領域の方が暗くなる。また、ボックス領域ＢＡ２に対応する領域よりもボックス領域ＢＡ３に対応する領域の方が暗くなる。また、ボックス領域ＢＡ３に対応する領域よりもボックス領域ＢＡ４に対応する領域の方が暗くなる。そこで、第２生成部５３は、ボックス領域ＢＡ１に最も明るい色（例えば白に近い色）を設定し、ボックス領域ＢＡ２にボックス領域ＢＡ１よりも暗い色（例えば薄い灰色）を設定し、ボックス領域ＢＡ３にボックス領域ＢＡ２よりも暗い色（例えば濃い灰色）を設定し、ボックス領域ＢＡ４にボックス領域ＢＡ３よりも暗い色（例えば黒に近い色）を設定する。そして、第２生成部５３は、ボックス設定画像Ｐ３からボックス領域ＢＡ１～ＢＡ４以外のパターンを除去する。これにより、図８に示されるように、着色された複数のボックス領域ＢＡのみを含む着色画像Ｐ４が得られる。

[0050]（第２処理）

第２処理は、着色画像Ｐ４に基づいて第２パターン画像を生成する処理である。一例として、第２生成部５３は、着色画像Ｐ４に対するぼかし処理を行うことにより、第２パターン画像を生成する。ぼかし処理としては、公知のぼかし加工の手法を用いることができる。ぼかし加工のパラメータ（ぼかし度合い）は、例えば、ＯＢＩＣ画像Ｐ２に基づいて決定されてもよい。例えば、オペレータ（ユーザ）が、表示装置７に表示されたＯＢＩＣ画像Ｐ２を確認しながら、なるべくＯＢＩＣ画像Ｐ２に類似する第２パターン画像が生成されるように、着色画像Ｐ４のぼかし度合いを決定してもよい。そして、第２生成部５３は、入力装置６を介してオペレータにより入力されたぼかし度合いに基づいて、着色画像Ｐ４に対するぼかし処理を実行することにより、第２パターン画像（ぼかし画像）を生成してもよい。或いは、第２生成部５３は、人手を介さずに、事前に設定されたぼかし度合いに基づいて、着色画像Ｐ４に対するぼかし処理を実行してもよい。図９は、ぼかし処理によって得られたぼかし画像Ｐ５の一例を示す図である。

[0051] また、着色画像Ｐ４からぼかし画像Ｐ５を生成する処理は、上記のぼかし

処理に代えて、機械学習によって学習された変換処理を用いて行われてもよい。例えば、第２生成部５３は、事前に、学習用の着色画像と当該学習用の着色画像に対応するＯＢＩＣ画像とを含む教師データを用いた機械学習によって、着色画像の変換処理を学習してもよい。そして、第２生成部５３は、上記機械学習により決定された変換処理を用いて着色画像Ｐ４を変換することにより、ぼかし画像Ｐ５を生成してもよい。

[0052] 例えば、第２生成部５３は、上記変換処理に対応するパラメータ（学習済みパラメータ）を有する学習済みモデル（以下「変換モデル」）を事前に作成し、記憶部５１に記憶させてもよい。変換モデルは、例えば、上述した教師データを用いた機械学習によって、着色画像を入力してＯＢＩＣ画像に類似する画像（上述したぼかし処理により生成される画像に対応する画像）を出力するように構成されたモデルである。教師データ（学習用の着色画像と当該学習用の着色画像に対応するＯＢＩＣ画像）としては、例えば、過去に検査対象とされた半導体デバイスから得られた着色画像及びＯＢＩＣ画像を用いることができる。そして、第２生成部５３は、変換モデルに着色画像Ｐ４を入力することで変換モデルから出力された画像を、ぼかし画像Ｐ５として取得してもよい。変換モデルは、例えば、ニューラルネットワーク、深層学習（ディープラーニング）によって構築された多層ニューラルネットワーク等である。変換モデルの例としては、ＣＮＮ（Convolutional Neural Network）、ＦＣＮ（Fully Convolutional Networks）、Ｕ－Ｎｅｔ、ＲｅｓＮｅｔ（Residual Network）等がある。ただし、変換モデルは特定のモデルには限定されない。また、変換モデルのノード数及び層数も任意に設定され得る。

[0053] 画像処理部５４は、ＯＢＩＣ画像Ｐ２（図５参照）とぼかし画像Ｐ５（図９参照）との位置合わせの結果に基づいて、ＯＢＩＣ画像Ｐ２とレイアウト画像Ｐ１（図４参照）との相対関係（対応関係）を示すマッチング情報を取得する。例えば、ＯＢＩＣ画像Ｐ２とぼかし画像Ｐ５との位置合わせは、ＯＢＩＣ画像Ｐ２とぼかし画像Ｐ５との間で、互いに対応する３箇所以上の点

を特定することにより行われる。このような位置合わせは、公知のパターンマッチング手法によって行われてもよいし、オペレータによって実行されてもよい。例えば、画像処理部５４は、表示装置７を介してＯＢＩＣ画像Ｐ２及びぼかし画像Ｐ５をユーザに提示し、入力装置６を介してオペレータにより指定されたＯＢＩＣ画像Ｐ２とぼかし画像Ｐ５との対応関係を示す情報（例えば、互いに対応する３箇所以上の点を示す情報）を取得してもよい。上述したように、ぼかし画像Ｐ５は、ＯＢＩＣ画像Ｐ２になるべく似るように着色画像Ｐ４に基づいて生成された画像であるため、オペレータの目視によっても、それなりの精度でぼかし画像Ｐ５とＯＢＩＣ画像Ｐ２との位置合わせを行うことができる。また、ぼかし画像Ｐ５は、レイアウト画像Ｐ１から生成された画像であるため、ぼかし画像Ｐ５に設定された座標とレイアウト画像Ｐ１に設定された座標との対応関係は予め把握されている。従って、画像処理部５４は、ＯＢＩＣ画像Ｐ２とぼかし画像Ｐ５との位置合わせの結果から、ＯＢＩＣ画像Ｐ２とレイアウト画像Ｐ１との間のマッチング情報を得ることができる。得られたマッチング情報は、例えば記憶部５１に記憶される。

[0054] マッチング情報は、ＯＢＩＣ画像Ｐ２における任意の座標位置がレイアウト画像Ｐ１におけるどの座標位置に対応するかを特定するための情報（或いは、レイアウト画像Ｐ１における任意の座標位置がＯＢＩＣ画像Ｐ２におけるどの座標位置に対応するかを特定するための情報）である。マッチング情報は、例えば、ＯＢＩＣ画像Ｐ２の座標とレイアウト画像Ｐ１に関連付けられている座標とを相互に変換するための情報（例えば関数等）であってもよい。ここで、ＯＢＩＣ画像Ｐ２の座標は、レーザ光Ｌの照射位置に関連付けられた座標であり、半導体検査装置１の動作制御用の座標（すなわち、半導体検査装置１が認識している座標系における座標）である。ただし、マッチング情報に含まれる情報は上記に限られない。例えば、マッチング情報は、ＯＢＩＣ画像Ｐ２に対するレイアウト画像Ｐ１の回転角度を示す角度情報や、ＯＢＩＣ画像Ｐ２に対するレイアウト画像Ｐ１の倍率等の情報を含んでい

てもよい。上記を一般化すると以下のようになる。レイアウト画像Ｐ１を規定する２次元の第１座標系とＯＢＩＣ画像Ｐ２を規定する２次元の第２座標系が存在する。ここで、第１座標系と第２座標系との間で、縦横尺度及び水平垂直角度が異なっていてもよい。ただし、両座標系の座標面は平坦で歪みは無いものとする。このとき、第１座標系の３点（Ｘ１，Ｙ１）、（Ｘ２，Ｙ２）、（Ｘ３，Ｙ３）と、これらの３点と同一位置として対応する第２座標系の３点（ｘ１，ｙ１）、（ｘ２，ｙ２）、（ｘ３，ｙ３）を指定する。第１座標系及び第２座標系に歪みが無い場合、第１座標系における点と第２座標系における点とが１次変換によって対応付けられる。このような対応関係に基づいて、一方の座標系の任意の点を他方の座標系の対応する点に変換するための変換式が得られる。上記で述べた関数は、この変換式に相当する。また、角度情報や倍率も、この変換式に含まれ得る。両方の座標系の間で特定の条件（例えば、両方の座標系が同じ平面上に乗っている状況等）が成立している場合等には、変換式が簡略化され得る。例えば、座標回転又は座標シフトのみによって、第１座標系と第２座標系との相互変換が可能となる。

[0055] 画像処理部５４は、上述のようにして得られたマッチング情報に基づいて、レイアウト画像Ｐ１とＯＢＩＣ画像Ｐ２とを重畳させた重畳画像Ｐ６（図１１参照）を生成してもよい。なお、図１１では、便宜上、重畳画像Ｐ６を無地で表している。実際には、重畳画像Ｐ６は、レイアウト画像Ｐ１及びＯＢＩＣ画像Ｐ２の一方の画像の上に、透過率が設定された他方の画像が重畳したものとなる。上述したマッチング情報を用いることにより、レイアウト画像Ｐ１とＯＢＩＣ画像Ｐ２とを精度良く重畳させた重畳画像Ｐ６を得ることができる。その結果、重畳画像Ｐ６を用いた故障解析等を精度良く行うことが可能となる。なお、画像処理部５４は、重畳画像Ｐ６として、レイアウト画像Ｐ１及びＯＢＩＣ画像Ｐ２以外の画像（例えば、ボックス設定画像Ｐ３、着色画像Ｐ４、ぼかし画像Ｐ５等）を必要に応じて重畳させた画像を生成してもよい。例えば、画像処理部５４は、オペレータに重畳対象とする画

像、重ね合わせの順番、各画像の透過率等を選択させ、選択された内容に基づいて重畳画像を生成してもよい。

[0056] 或いは、画像処理部５４は、レイアウト画像Ｐ１とＯＢＩＣ画像Ｐ２とを表示装置７のディスプレイ上に並べて表示してもよい。この場合、画像処理部５４は、マウス等の入力装置６を介したオペレータの操作によってレイアウト画像Ｐ１及びＯＢＩＣ画像Ｐ２の一方の画像上の任意の位置にカーソルが合わされた場合に、マッチング情報に基づいて、一方の画像上のカーソル位置に対応する他方の画像上における位置に他のカーソルを表示してもよい。このような並列表示によっても、オペレータは、レイアウト画像Ｐ１とＯＢＩＣ画像Ｐ２との対応関係を容易に把握することが可能となる。

[0057] また、画像処理部５４は、マッチング情報に基づいて、半導体デバイス１０に対する故障解析により特定された故障位置とレイアウト画像Ｐ１上の位置との同定、又は、半導体デバイス１０に対するプロービングの位置の設定を行ってもよい。例えば、画像処理部５４は、半導体検査装置１が備える図示しないテスタによって半導体デバイス１０に所定の電気信号のテストパターン、所定の電圧、又は所定の電流を印加し、半導体デバイス１０の故障に起因して発生する発熱又は発光を図示しない撮像部で撮像する。このようにして撮像部により撮像された発熱画像又は発光画像に示される故障位置（反応位置）の座標は、ＯＢＩＣ画像Ｐ２の座標（すなわち、半導体検査装置１の動作制御用の座標）として把握される。従って、画像処理部５４は、マッチング情報を用いることにより、レイアウト画像Ｐ１上における故障位置を特定することができる。なお、故障解析手法は特定の手法に限られない。例えば、故障解析手法としては、上述した発熱解析又は発光解析以外に、ＯＢＩＲＣＨ（Optical Beam Induced Resistance Current）解析、ＳＤＬ（Soft Defect Localization）解析、ＬＡＤＡ（Laser Assisted Device Alteration）解析、ＥＯＦＭ（Electro Optical Frequency Mapping）解析等が用いられ得る。

[0058] また、マッチング情報により、レイアウト画像Ｐ１上の任意の座標を当該

座標に対応するＯＢＩＣ画像Ｐ２の座標（すなわち、半導体検査装置１の動作制御用の座標）に変換することができる。すなわち、マッチング情報を用いることで、レイアウト画像Ｐ１上の任意の座標を指定することにより、半導体検査装置１によるプロービングの位置を指定することができる。例えば、画像処理部５４は、表示装置７を介してオペレータにレイアウト画像Ｐ１を提示し、入力装置６を介してオペレータによって指定されたレイアウト画像Ｐ１上の位置（座標）を取得する。そして、画像処理部５４は、このように取得された座標をマッチング情報に基づいて半導体検査装置１の動作制御用の座標に変換することで、半導体検査装置１によるプロービングの位置（例えば、ＥＯＰ（Electro Optical Probing）解析時のプロービングの位置）を設定することができる。以上のように、マッチング情報を用いることにより、故障解析（レイアウト画像Ｐ１上における故障位置の特定又はプロービング位置の設定）を精度良く行うことができる。

[0059] 制御部５５は、コンピュータ５におけるデータ処理、及びコンピュータ５に接続された各デバイス（レーザ光源２，レーザ走査部３、アンプ４、入力装置６、表示装置７等）の動作を制御する。

[0060] 次に、図１０及び図１１を参照して、半導体検査装置１により実行される半導体検査方法の処理手順の一例について説明する。

[0061] ステップＳ１において、半導体検査装置１（主にレーザ光源２、レーザ走査部３，及びアンプ４）は、半導体デバイス１０に対してレーザ光Ｌを走査することにより、レーザ光Ｌの照射に応じた半導体デバイス１０の電気信号の特性を示す特性情報（本実施形態ではＯＢＩＣ信号）をレーザ光Ｌの照射位置毎に取得する。そして、半導体検査装置１（主に第１生成部５２）は、照射位置毎の特性情報に基づいて、半導体デバイス１０の第１パターン画像（本実施形態ではＯＢＩＣ画像Ｐ２）を生成する（図５参照）。

[0062] ステップＳ２において、半導体検査装置１（主に第２生成部５３）は、レイアウト画像Ｐ１及び電流経路情報に基づいて、第２パターン画像（本実施形態ではぼかし画像Ｐ５）を生成する。一例として、第２生成部５３は、上

述したように、レイアウト画像Ｐ１及び電流経路情報に基づいてボックス設定画像Ｐ３（図７参照）を生成し、ボックス設定画像Ｐ３から着色画像Ｐ４（図８参照）を生成し、着色画像Ｐ４からぼかし画像Ｐ５（図９参照）を生成する。なお、ステップＳ１よりも前にステップＳ２が実行されてもよいし、ステップＳ１とステップＳ２とは並行して実行されてもよい。

[0063] ステップＳ３において、半導体検査装置１（主に画像処理部５４）は、第１パターン画像（ＯＢＩＣ画像Ｐ２）と第２パターン画像（ぼかし画像Ｐ５）との位置合わせの結果に基づいて、マッチング情報を取得する。

[0064] ステップＳ４において、半導体検査装置１（主に画像処理部５４）は、マッチング情報を用いることにより、第１パターン画像（ＯＢＩＣ画像Ｐ２）とレイアウト画像Ｐ１とを重畳させた重畳画像Ｐ６を生成する。

[0065] ステップＳ５において、半導体検査装置１（主に画像処理部５４）は、マッチング情報を用いて故障解析を実施する。例えば、半導体検査装置１は、上述したように、半導体デバイス１０に対する故障解析により特定された故障位置とレイアウト画像Ｐ１上の位置との同定、又は、半導体デバイス１０に対するプロービングの位置の設定を行ってもよい。なお、ステップＳ５の処理を実施するにあたって、必ずしもステップＳ４における重畳画像Ｐ６を生成する処理を実施する必要はないが、重畳画像Ｐ６を生成してオペレータに提示することにより、故障解析を実施するオペレータの利便性を向上させることができる。

[0066] ［作用効果］

半導体デバイス１０に照射される光（例えばレーザ光Ｌ）は一定の広がりを有しており、半導体デバイス１０への入射光の半値全幅（ＦＷＨＭ：full width at half maximum）よりも半導体デバイス１０からの反射光の半値全幅の方が大きくなることが知られている。ここで、反射光に基づいて取得される光学画像の分解能（解像度）は観察される反射光の半値全幅に依存するのに対し、反射光に基づかない第１パターン画像（ＯＢＩＣ画像Ｐ２）の分解能は半導体デバイス１０への入射光の半値全幅に依存する。また、光

の半値全幅が小さい程、得られる画像の分解能は小さくなる。従って、光の照射に応じた半導体デバイス１０の電気信号の特性（ＯＢＩＣ信号）に基づいて第１パターン画像（ＯＢＩＣ画像Ｐ２）を生成することにより、反射光に基づいて取得される光学画像よりも高分解能の画像を得ることができる。さらに、レイアウト画像Ｐ１と半導体デバイス１０における電流経路とに基づいて得られる第２パターン画像（ぼかし画像Ｐ５）と第１パターン画像（ＯＢＩＣ画像Ｐ２）との位置合わせの結果に基づいて、第１パターン画像（ＯＢＩＣ画像Ｐ２）とレイアウト画像Ｐ１との間の精度の高いマッチング情報を得ることができる。以上により、上述した半導体検査装置１及び半導体検査方法によれば、半導体デバイス１０から得られた第１パターン画像（ＯＢＩＣ画像Ｐ２）と当該半導体デバイス１０のレイアウト画像Ｐ１とを精度良く位置合わせすることができる。その結果、故障解析により特定された半導体デバイス１０の故障位置をレイアウト画像Ｐ１上に表示させたり、レイアウト画像Ｐ１上の位置を指定することによりプロービング位置を容易に設定したりすることが可能となる。

[0067] また、第２生成部５３は、半導体デバイス１０に含まれる拡散層１１ｃの少なくとも一部及び素子分離層１１ｄ１の少なくとも一部の少なくとも一方（本実施形態では両方）を電流経路情報に基づいて分類し、レイアウト画像Ｐ１中の拡散層１１ｃの少なくとも一部及び素子分離層１１ｄ１の少なくとも一部の少なくとも一方に対して分類に応じた色を設定する第１処理と、第１処理により生成された着色画像Ｐ４に基づいて第２パターン画像（ぼかし画像Ｐ５）を生成する第２処理と、を実行してもよい。上記構成によれば、電流経路情報に基づいて着色された着色画像Ｐ４に基づいて、レイアウト画像Ｐ１との位置合わせを精度良く行うことが可能な第２パターン画像（ぼかし画像Ｐ５）を得ることができる。

[0068] また、上記第２処理は、着色画像Ｐ４に対するぼかし処理を含んでもよい。上記構成によれば、ぼかし処理により、第１パターン画像（ＯＢＩＣ画像Ｐ２）に似た第２パターン画像（ぼかし画像Ｐ５）を得ることができる。そ

の結果、１パターン画像（ＯＢＩＣ画像Ｐ２）との位置合わせを精度良く行うことが可能な第２パターン画像（ぼかし画像Ｐ５）を得ることができる。

[0069] また、上記第２処理は、学習用の着色画像Ｐ４と当該学習用の着色画像Ｐ４に対応する第１パターン画像（ＯＢＩＣ画像Ｐ２）とを含む教師データを用いた機械学習によって、着色画像Ｐ４の変換処理を学習する処理と、学習により決定された変換処理を用いて着色画像Ｐ４を変換することにより、第２パターン画像（ぼかし画像Ｐ５）を生成する処理と、を実行してもよい。上記構成によれば、機械学習の結果に基づく変換処理により、第１パターン画像（ＯＢＩＣ画像Ｐ２）に似た第２パターン画像（ぼかし画像Ｐ５）を得ることができる。その結果、１パターン画像（ＯＢＩＣ画像Ｐ２）と第２パターン画像（ぼかし画像Ｐ５）との位置合わせを精度良く行うことが可能となる。

[0070] また、画像処理部５４は、第１パターン画像（ＯＢＩＣ画像Ｐ２）及び第２パターン画像（ぼかし画像Ｐ５）をユーザに提示する処理と、ユーザにより指定された第１パターン画像（ＯＢＩＣ画像Ｐ２）と第２パターン画像（ぼかし画像Ｐ５）との対応関係を示す情報に基づいて、マッチング情報を取得する処理と、を実行してもよい。上記構成によれば、目視による第１パターン画像（ＯＢＩＣ画像Ｐ２）及び第２パターン画像（ぼかし画像Ｐ５）の位置合わせをユーザに実施させることができる。

[0071] また、アンプ４は、半導体デバイス１０へのレーザ光Ｌの照射に応じて生じる光起電流（ＯＢＩＣ）の測定値（ＯＢＩＣ信号）を特性情報として取得してもよい。上記構成によれば、光起電流の測定値に応じた色合い（濃淡）が設定されたＯＢＩＣ画像を第１パターン画像として得ることができる。

[0072] ［変形例］

以上、本開示の一実施形態について説明したが、本開示は、上述した実施形態に限定されない。各構成の材料及び形状には、上述した材料及び形状に限らず、様々な材料及び形状を採用することができる。

[0073] 例えば、上記実施形態では、着色画像Ｐ４に対してぼかし加工（或いは変

換モデルによる変換処理）を行うことで得られるぼかし画像Ｐ５が第２パターン画像として利用されたが、着色画像Ｐ４が第２パターン画像として利用されてもよい。

[0074] また、上述したマッチング情報を取得する処理は、機械学習によって学習された位置合わせ処理を用いて行われてもよい。例えば、画像処理部５４は、事前に、学習用の第１パターン画像（ＯＢＩＣ画像Ｐ２）と、学習用の第１パターン画像（ＯＢＩＣ画像Ｐ２）に対応する第２パターン画像（着色画像Ｐ４又はぼかし画像Ｐ５）と、これらの画像のマッチング結果（位置合わせの結果）とを含む教師データを用いた機械学習によって、第１パターン画像（ＯＢＩＣ画像Ｐ２）と第２パターン画像（着色画像Ｐ４又はぼかし画像Ｐ５）との位置合わせ処理を学習する処理を実行してもよい。例えば、画像処理部５４は、上記位置合わせ処理に対応するパラメータ（学習済みパラメータ）を有する学習済みモデル（以下「位置合わせモデル」）を事前に作成し、記憶部５１に記憶させてもよい。位置合わせモデルは、例えば、上述した教師データを用いた機械学習によって、第１パターン画像及び第２パターン画像を入力して、これらの位置合わせの結果（例えば、両画像の互いに対応する３箇所以上の点の座標等）を出力するように構成されたモデルである。教師データとしては、例えば、過去に検査対象とされた半導体デバイスに対する処理によって得られたＯＢＩＣ画像、着色画像（又はぼかし画像）、及びマッチング結果の組を用いることができる。

[0075] そして、画像処理部５４は、上記学習により決定された位置合わせ処理を用いて第１パターン画像（ＯＢＩＣ画像Ｐ２）と第２パターン画像（着色画像Ｐ４又はぼかし画像Ｐ５）との位置合わせを行うことにより、第１パターン画像（ＯＢＩＣ画像Ｐ２）とレイアウト画像Ｐ１との相対関係を示すマッチング情報を取得する処理を実行してもよい。例えば、画像処理部５４は、位置合わせモデルに第１パターン画像及び第２パターン画像を入力することで位置合わせモデルから出力された結果を、これらの画像の位置合わせの結果として取得してもよい。そして、画像処理部５４は、このようにして得ら

れた位置合わせの結果に基づいてマッチング情報を取得してもよい。位置合わせモデルは、例えば、ニューラルネットワーク、深層学習（ディープラーニング）によって構築された多層ニューラルネットワーク等である。位置合わせモデルの例としては、ＣＮＮ（Convolutional Neural Network）、ＦＣＮ（Fully Convolutional Networks）、Ｕ－Ｎｅｔ、ＲｅｓＮｅｔ（Residual Network）等がある。ただし、位置合わせモデルは特定のモデルには限定されない。また、位置合わせモデルのノード数及び層数も任意に設定され得る。上記構成によれば、機械学習の結果に基づく位置合わせ処理により、第１パターン画像と第２パターン画像との位置合わせを精度良く行うことが可能となる。また、第２パターン画像として着色画像Ｐ４を用いた場合、オペレータの目視又は従来のパターンマッチング等の手法では、位置合わせの精度が落ちる可能性がある。一方、上記の位置合わせモデルを用いることにより、第２パターン画像として着色画像Ｐ４を用いた場合でも、精度良く第１パターン画像と第２パターン画像との位置合わせを行うことが期待できる。すなわち、上記の位置合わせモデルを用いた場合には、位置合わせの精度を確保しつつ、着色画像Ｐ４からぼかし画像Ｐ５を生成する処理を省略することが可能となる。

[0076] 図１２～図１５を参照して、ＯＢＩＣ信号を取得するための構成例（第１構成例～第５構成例）について説明する。

[0077] （第１構成例）

図１２は、第１構成例を示す概略図である。この例では、半導体デバイス１０は、互いに電源電圧の異なる複数のブロックＢＲに分けられている。ブロックＢＲ１は、電源V_{DD1}から第１の電圧が印加され、ブロックＢＲ２は、電源V_{DD2}から第２の電圧が印加されるように構成されている。この場合、ブロックＢＲ１の領域に対してレーザ光Ｌを走査してＯＢＩＣ信号を取得する際には、アンプ４の一方の端子４ａ（グランドV_{SS}に接続される側の端子４ｂとは反対側の端子）を電源V_{DD1}に対応するパッケージ基板１２の端子１２ａに接続すればよい。一方、ブロックＢＲ２の領域に対してレーザ光Ｌを走

査してＯＢＩＣ信号を取得する際には、アンプ４の一方の端子４ａを電源V_{DD2}に対応するパッケージ基板１２の端子１２ａに接続すればよい。

[0078]（第２構成例）

図１３は、第２構成例を示す概略図である。図１３に示されるように、上述した半導体デバイス１０（半導体チップ１１及びパッケージ基板１２）は、ソケット１５を介してプリント基板等のボード１６に搭載されてもよい。この場合、アンプ４の端子４ａ，４ｂは、ボード１６に設けられた電源端子及びグランド端子に接続されてもよい。

[0079]（第３構成例）

図１４の（Ａ）は、第３構成例を示す概略図である。図１４の（Ａ）に示されるように、電源V_{DD}及びグランドV_{SS}が半導体チップ１１内に直接接続されている場合には、例えば図１３に示されるようにアンプ４の端子４ａ，４ｂを電源V_{DD}及びグランドV_{SS}に接続し、バイアスを印加することなく、レーザ光Ｌの照射に応じて流れる電流I_{DD}の変化（すなわち、ＯＢＩＣ信号）をモニタすればよい。バイアスを印加しないことにより、ノイズ成分をなるべく小さくすることができ、ＯＢＩＣ信号の測定（識別）を容易に行うことが可能となる。

[0080]（第４構成例）

図１４の（Ｂ）は、第４構成例を示す概略図である。図１４の（Ｂ）に示されるように、ＭＯＳスイッチＳＷがグランドV_{SS}に設けられている場合には、半導体デバイス１０をスタンバイ状態にセットすることにより、グランドV_{SS}が外部に接続される。この状態で、一定レベルのリーク電流にＯＢＩＣ信号が乗った電流変化を検出することができる。なお、図１４の（Ｂ）の左側の図は、実際の構成を簡略的に図示したものであり、実際には、スイッチを制御する回路によってＭＯＳ（トランジスタＴ）のＯＮ／ＯＦＦが切り替えられる。また、アンプ４は、微小電流を検知するために、微分回路で構成されてもよい。この場合、電流の変化分を検出できる。すなわち、ＯＢＩＣ信号がノイズ成分よりも大きい場合には、ノイズ成分等のオフセットを無

視することができる。

[0081]（第５構成例）

図１５は、第５構成例を示す概略図である。この例では、半導体デバイス１０に、電源管理回路（ＰＭＣ：power management circuit）Ｃが設けられている。電源管理回路Ｃは、電源V_{DD}から供給される電圧を調整し、調整された電源電圧（V_{DD1}，V_{DD2}）を半導体デバイス１０の各ブロックＢＲ（図１２参照）に供給するように構成されている。このような場合、電源電圧（V_{DD1}）に対応するブロックＢＲにレーザ光Ｌを照射した際に生じるＯＢＩＣ信号を取得するためには、電源電圧（V_{DD1}）を供給する電源ラインW_{DD1}にアクセスする必要がある。そこで、この例では、半導体基板１１Ａの裏面１１ｂに、裏面１１ｂから配線層１１Ｂに設けられた電源ラインW_{DD1}まで到達する開口部１１ｅが形成されている。開口部１１ｅには、例えばＦＩＢＣＶＤ等のＦＩＢ加工によって形成された絶縁体からなる絶縁部１７と、同様にＦＩＢ加工によって形成された金属からなるパッド１８と、が配置される。パッド１８の内側（配線層１１Ｂ側）の先端部は電源ラインW_{DD1}と接続されており、パッド１８の外側の表面は開口部１１ｅに露出している。絶縁部１７は、パッド１８の周囲を覆うように形成されている。パッド１８の外側の表面は、電源ラインW_{DD1}を流れる電流を測定するためのプローブＰＲの先端が接続されている。このように、電源管理回路Ｃから枝分かれした後の電源ラインW_{DD1}に対して、半導体基板１１Ａの裏面１１ｂ側に露出するパッド１８を介してプロービングすることにより、電源ラインW_{DD1}を流れる電流を測定することができる。なお、通常、ブロックＢＲ（図１２参照）の外縁部に、当該ブロックＢＲに対応する比較的幅広の電源ラインが設けられる。この場合、上述した開口部１１ｅは、当該外縁部に形成されればよい。

[0082] また、第１パターン画像は、ＯＢＩＣ画像に限定されない。第１パターン画像としては、半導体基板１１Ａの裏面１１ｂからの光照射（光刺激）に応じて観測される電気信号の特性を画像化することによって得られる任意の画像を用いることができる。

符号の説明

[0083] １…半導体検査装置、２…レーザ光源（光源）、３…レーザ走査部（走査部）、４…アンプ（測定部）、１０…半導体デバイス、１１Ａ…半導体基板、１１ａ…主面、１１ｂ…裏面、１１ｃ，１１ｃ１，１１ｃ２…拡散層、１１ｄ…絶縁層、１１ｄ１…素子分離層、５２…第１生成部、５３…第２生成部、５４…画像処理部（処理部）、Ｌ…レーザ光（光）、Ｐ１…レイアウト画像、Ｐ２…ＯＢＩＣ画像（第１パターン画像）、Ｐ４…着色画像（第２パターン画像）、Ｐ５…ぼかし画像（第２パターン画像）、Ｐ６…重畳画像、Ｔ…トランジスタ。