

明 細 書

発明の名称：半導体故障解析装置及び半導体故障解析方法

技術分野

[0001] 本発明は、半導体故障解析装置及び半導体故障解析方法に関する。

背景技術

[0002] 半導体デバイスを解析する技術として、故障箇所が特定された場合に、故障箇所の周囲における数か所に対して、レーザ光の照射によってマークを付す技術がある。故障解析における後工程では、マークに基づいて、故障箇所を容易に把握することができる。従って、このような技術は、極めて有効である。

[0003] 特許文献1は、半導体デバイスの解析装置を開示する。特許文献1が開示する解析装置は、半導体デバイスの故障箇所を解析する構成と、故障箇所の周囲にマークを付す構成と、を有する。解析装置は、まず、故障箇所を検出する構成とマークを付す構成との位置合わせを行う。次に、解析装置は、故障箇所を検出する構成を半導体デバイスに対して移動させながら、故障箇所を解析する。故障箇所を検出する構成が故障箇所の位置を特定したとき、解析装置は、マークを付す構成を故障箇所の位置まで移動させる。

先行技術文献

特許文献

[0004] 特許文献1：特開2016-148550号公報

発明の概要

発明が解決しようとする課題

[0005] 故障解析の後工程では、マークに基づいて故障箇所の位置を特定する。従って、マークは、故障箇所の位置を正確に示すことが望まれる。一方、装置の構成要素を移動させるXYステージといった移動機構は、高精度のものであったとしても、移動指令値が示す位置と実際の位置とにわずかな誤差が生じる。わずかな誤差であっても、実際の故障箇所の位置に対してマークが示

す故障箇所の位置がずれる可能性がある。つまり、実際の故障箇所の位置とマークが示す故障箇所の位置とのずれは、移動機構の精度に依存する。

[0006] 本発明は、故障箇所の位置とマークが示す故障箇所の位置とのずれを低減することが可能な半導体故障解析装置及び半導体故障解析方法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

[0007] 本発明の一形態である半導体故障解析装置は、半導体デバイスから第1の光学系を介して第1の光を第1の光検出部が受け、第1の光学系が半導体デバイスに対して第1の駆動部によって相対的に移動する解析部と、半導体デバイスから第2の光学系を介して第2の光を第2の光検出部が受けると共に、半導体デバイスに対して第2の光学系を介してレーザ光を照射し、第2の光学系が半導体デバイスに対して第2の駆動部によって相対的に移動するマーキング部と、解析部とマーキング部との間に配置されて、半導体デバイスを保持すると共に、第1の光学系の光軸と第2の光学系の光軸との位置合わせのためのターゲットが設けられたチャックを有し、チャックが解析部及びマーキング部に対して第3の駆動部によって相対的に移動するデバイス配置部と、解析部、マーキング部及びデバイス配置部に命令を出力する制御部と、を備える。ターゲットは、ターゲットの一方の側から第1の光検出部によって検出可能であると共に、ターゲットの他方の側から第2の光検出部によって検出可能である。制御部は、第1の光検出部がターゲットを検出可能な位置にチャックを移動させた後に、ターゲットを基準として、第2の光学系の光軸を第1の光学系の光軸に合わせるアライメント命令をマーキング部及びデバイス配置部に出力し、第1の光学系の光軸と第2の光学系の光軸との位置関係を維持した状態で、半導体デバイスに設定されるマーキング位置にレーザ光を照射させるマーキング命令と、をマーキング部及びデバイス配置部に出力する。

[0008] 本発明の別の形態は、半導体故障解析装置を用いて半導体デバイスを解析する半導体故障解析方法である。半導体故障解析装置は、半導体デバイスか

ら第1の光学系を介して第1の光を第1の光検出部が受け、第1の光学系が半導体デバイスに対して第1の駆動部によって相対的に移動する解析部と、半導体デバイスから第2の光学系を介して第2の光を第2の光検出部が受けると共に、半導体デバイスに対して第2の光学系を介してレーザ光を照射し、第2の光学系が半導体デバイスに対して第2の駆動部によって相対的に移動するマーキング部と、解析部とマーキング部との間に配置されて、半導体デバイスを保持すると共に、第1の光学系の光軸と第2の光学系の光軸との位置合わせのためのターゲットが設けられたチャックを有し、チャックが解析部及びマーキング部に対して第3の駆動部によって相対的に移動するデバイス配置部と、解析部、マーキング部及びデバイス配置部に命令を出力する制御部と、を備える。ターゲットは、ターゲットの一方の側から第1の光検出部によって検出可能であると共に、ターゲットの他方の側から第2の光検出部によって検出可能である。半導体故障解析方法は、第1の光検出部がターゲットを検出可能な位置にチャックを移動させた後に、ターゲットを基準として、第2の光学系の光軸を第1の光学系の光軸に合わせるアライメント工程と、第1の光学系の光軸と第2の光学系の光軸との位置関係を維持した状態で、半導体デバイスに設定されるマーキング位置にレーザ光を照射させるマーキング工程と、を有する。

[0009] 半導体故障解析装置及び半導体故障解析方法では、まず、マーキング部が有する第2の光学系の光軸を、チャックに設けられたターゲットに基づいて解析部が有する第1の光学系の光軸に合わせる。その後、第1の光学系の光軸と第2の光学系の光軸との位置関係を維持した状態で、半導体デバイスに設定されるマーキング位置にレーザ光を照射させる。つまり、第1の光学系の光軸と第2の光学系の光軸とを合わせた後は、第1の光学系及び第2の光学系は、一方が他方に対して相対的に移動しない。従って、移動によって生じる可能性がある移動指令値が示す位置と実際の位置とのずれは生じない。その結果、解析部が示す故障箇所的位置に対して、マークが示す故障箇所的位置のずれを低減することができる。

- [0010] 一形態の半導体故障解析装置において、制御部は、アライメント命令を出力する前に、解析部によって半導体デバイスの故障箇所を解析する解析命令を解析部に出力してもよい。同様に、別の形態の半導体故障解析方法は、アライメント工程の前に、解析部によって半導体デバイスの故障箇所を解析する解析工程をさらに有してもよい。この構成によれば、故障箇所の位置を精度よく示すマークを付することができる。
- [0011] 一形態の半導体故障解析装置において、マーキング命令は、第3の駆動部によってチャックをマーキング位置に移動させた後に、半導体デバイスにレーザ光を照射させてもよい。同様に、別の形態の半導体故障解析方法において、マーキング工程は、第3の駆動部によってチャックをマーキング位置に移動させた後に、半導体デバイスにレーザ光を照射させてもよい。この構成によれば、第1の光学系の光軸に第2の光学系の光軸を合わせた後に、第1の光学系及び第2の光学系の相対的な位置に加えて絶対的な位置も維持したまま、半導体デバイスの所望の位置にレーザ光を照射することができる。その結果、マーキング部によって付されるマークが示す故障箇所の位置のずれをさらに低減することができる。
- [0012] 一形態の半導体故障解析装置において、アライメント命令は、第1の光検出部に一方の側からのターゲットの第1の画像を取得させ、第2の光検出部に他方の側からのターゲットの第2の画像を取得させ、第1の画像及び第2の画像に基づいて第2の光学系の光軸を第1の光学系の光軸に合わせるように第2の光学系を移動させてもよい。同様に、別の形態の半導体故障解析方法において、アライメント工程は、第1の光検出部に一方の側からのターゲットの第1の画像を取得させ、第2の光検出部に他方の側からのターゲットの第2の画像を取得させ、第1の画像及び第2の画像に基づいて第2の光学系の光軸を第1の光学系の光軸に合わせるように第2の駆動部を移動させてもよい。この構成によれば、第1の光学系の光軸に第2の光学系の光軸を合わせる動作を確実に行うことができる。
- [0013] 一形態の半導体故障解析装置において、ターゲットは、チャックにおいて

半導体デバイスが保持されるデバイス保持部とは異なる場所に設けられてもよい。この構成によれば、半導体デバイスの種類によらず、第1の光学系の光軸に第2の光学系の光軸を合わせることができる。

[0014] 一形態の半導体故障解析装置において、第1の光検出部は、ターゲットを一方の側から見た第1の画像を取得してもよい。第2の光検出部は、ターゲットを他方の側から見た第2の画像を取得してもよい。この構成によっても、第1の光学系の光軸に第2の光学系の光軸を合わせる動作を確実に行うことができる。

[0015] 一形態の半導体故障解析装置において、ターゲットは、第1の光検出部及び第2の光検出部が検出可能な光を透過する光透過部を含んでもよい。この構成によっても、第1の光学系の光軸に第2の光学系の光軸を合わせる動作を確実に行うことができる。

発明の効果

[0016] 本発明によれば、故障箇所の位置とマークが示す位置とのずれを低減することが可能な半導体故障解析装置及び半導体故障解析方法が提供される。

図面の簡単な説明

[0017] [図1]図1は、実施形態に係る半導体故障解析装置の構成図である。

[図2]図2は、半導体デバイスへのレーザマーキングイメージを説明するための図である。図2(a)はレーザマーキングされた半導体デバイスの裏面を示す図である。図2(b)はレーザマーキングされた半導体デバイスの表面を示す図である。図2(c)は図2(b)のI-I(c)-I-I(c)に沿った断面図である。

[図3]図3は、図1の解析装置におけるマーキング制御を説明するための図である。

[図4]図4は、ターゲットを平面視して示す図である。

[図5]図5は、図1の解析装置を用いた半導体故障解析方法の主要な工程を示すフロー図である。

[図6]図6(a)は解析工程を示す図である。図6(b)はアライメント工程

を構成する一工程を示す図である。

[図7]図7(a)は、図6(b)に続くアライメント工程を構成する一工程を示す図である。図7(b)は、図7(a)に続くアライメント工程を構成する一工程を示す図である。

[図8]図8は、図7(b)に続くアライメント工程を構成する一工程を示す図である。

発明を実施するための形態

[0018] 以下、添付図面を参照しながら本発明を実施するための形態を詳細に説明する。図面の説明において同一の要素には同一の符号を付し、重複する説明を省略する。

[0019] 図1に示されるように、本実施形態に係る半導体故障解析装置は、被検査デバイス(DUT: Device Under Test)である半導体デバイスDを解析する。以下の説明において、本実施形態に係る半導体故障解析装置は、単に「解析装置1」と称する。また、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。なお、半導体デバイスDの解析は、故障箇所の位置の特定に限定されない。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などを含む。以下、本実施形態の解析装置1は、半導体デバイスDが含む故障箇所の位置を特定するものとして説明する。

[0020] さらに、解析装置1は、故障箇所の位置を特定すると共に、故障箇所の周囲に、故障箇所を示す印(マーク)を付す。この印を付す動作を「マーキング」と称する。マークは、故障解析の後工程において、解析装置1が特定した故障箇所を容易に把握するためのものである。

[0021] 半導体デバイスDとしては、トランジスタ等のPN接合を有する集積回路(IC: Integrated Circuit)、あるいは大規模集積回路(LSI: Large Scale Integration)であるロジックデバイス、メモリデバイス、アナログデバイス、さらに、それらを組み合わせたミックスドシグナルデバイス、または、大電流用/高圧用MOSトランジスタ、バイポーラトランジスタ、IGBT

等の電力用半導体デバイス（パワーデバイス）等が挙げられる。半導体デバイスDは、基板及びメタル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、例えばシリコン基板が用いられる。

[0022] 解析装置1は、解析部10と、マーキング部20と、デバイス配置部30と、計算機40と、を含む。解析部10は、半導体デバイスDの故障箇所を特定する。マーキング部20は、故障箇所の位置を示すマークを付す。デバイス配置部30には、半導体デバイスDが配置される。解析装置1は、例えば、レーザマーキングの機能を有する倒立型のエミッション顕微鏡であってもよい。

[0023] <解析部>

解析部10は、テストユニット11と、光源12（第1の光源）と、観察用光学系13（第1の光学系）と、XYZステージ14（第1の駆動部）と、二次元カメラ15（第1の光検出部）と、を有する。

[0024] テストユニット11は、ケーブルを介して半導体デバイスDに電氣的に接続されている。テストユニット11は、半導体デバイスDに刺激信号を印加する刺激信号印加部である。テストユニット11は、図示しない電源によって動作させられる。テストユニット11は、半導体デバイスDに所定のテストパターンなどの刺激信号を繰り返し印加する。テストユニット11が出力する刺激信号は、変調電流信号であってもよいし、CW（continuous wave）電流信号であってもよい。

[0025] テストユニット11は、ケーブルを介して計算機40に電氣的に接続されている。テストユニット11は、計算機40から指定された刺激信号を、半導体デバイスDに印加する。テストユニット11は、必ずしも計算機40に電氣的に接続されていなくてもよい。テストユニット11は、計算機40に電氣的に接続されていない場合には、単体でテストパターンなどの刺激信号を決定する。なお、電源又はパルスジェネレータ等をテストユニット11として用いてもよい。

[0026] 光源12は、半導体デバイスDに光を出力する。光源12は、例えばLE

D (Light Emitting Diode) 又は SLD (Super Luminescent Diode) であってもよい。さらに、光源 12 は、ランプ光源等のインコヒーレント光源又はレーザ光源等のコヒーレント光源であってもよい。光源 12 から出力される光は、半導体デバイス D の基板を透過する。例えば、半導体デバイス D の基板がシリコンである場合、光源 12 から出力される光の波長は、好ましくは 1064 nm 以上である。光源 12 から出力された光は観察用光学系 13 に提供される。

[0027] 観察用光学系 13 は、光源 12 から出力された光を半導体デバイス D に出力する。例えば、光源 12 は、マーキング処理中において、半導体デバイス D の裏面 D1 側に光を照射する。観察用光学系 13 は、対物レンズ 13a 及びビームスプリッタ 13b を有する。対物レンズ 13a は、観察エリアに光を集光する。

[0028] 観察用光学系 13 は、半導体デバイス D において反射された光を、二次元カメラ 15 に導く。具体的には、観察用光学系 13 から照射された光は、半導体デバイス D の基板 SiE (図 2 (c) 参照) を透過する。次に、基板 SiE を透過した光は、メタル層 ME (図 2 (c) 参照) で反射される。次に、メタル層 ME を反射した光は、再び基板 SiE を透過する。そして、基板 SiE を透過した光は、観察用光学系 13 の対物レンズ 13a 及びビームスプリッタ 13b を介して二次元カメラ 15 に入力される。また、観察用光学系 13 は、刺激信号の印加によって半導体デバイス D で発生した発光を二次元カメラ 15 に導く。具体的には、半導体デバイス D のメタル層 ME は、刺激信号の印加に起因してエミッション光などの光を発する場合がある。メタル層 ME が発した光は、基板 SiE を透過した後に、観察用光学系 13 の対物レンズ 13a 及びビームスプリッタ 13b を介して二次元カメラ 15 に入力される。

[0029] 観察用光学系 13 は、XYZ ステージ 14 に載置されている。Z 軸方向は、対物レンズ 13a の光軸方向である。XYZ ステージ 14 は、Z 軸方向に移動可能である。さらに、XYZ ステージ 14 は、Z 軸方向に直交する X 軸

方向及びY軸方向にも移動可能である。XYZステージ14は、後述する計算機40の制御部41bに制御される。XYZステージ14の位置によって観察エリアが決定される。観察用光学系13は、照射された光に応じた半導体デバイスDからの反射光を、半導体デバイスDからの光として二次元カメラ15に導く。

[0030] 二次元カメラ15は、半導体デバイスDからの光（第1の光）を受ける。二次元カメラ15は、受けた光に基づく画像データを出力する。本明細書でいう半導体デバイスDからの光は、照明光に応じて半導体デバイスDにおいて反射された反射光であってもよい。また、本明細書でいう半導体デバイスDからの光は、刺激信号に応じて生じたエミッション光であってもよい。例えば、二次元カメラ15は、マーキング処理中において、半導体デバイスDの基板SiE側から、半導体デバイスDを撮像する。換言すると、二次元カメラ15は、マーキング処理中において、半導体デバイスDの裏面D1側から、半導体デバイスDを撮像する。

[0031] 二次元カメラ15は、半導体デバイスDにおいて反射された光を受ける。そして、二次元カメラ15は、受けた光に基づいて、パターン画像を作成するための画像データを計算機40に出力する。パターン画像によれば、マーキング位置を把握することができる。また、二次元カメラ15は、刺激信号に応じて生じたエミッション光を受ける。二次元カメラ15は、受けた光に基づいて、発光画像を生成するための画像データを計算機40に出力する。発光画像によれば、半導体デバイスDにおける発光箇所を特定することができる。発光箇所を特定することにより、半導体デバイスDの故障箇所を特定することができる。

[0032] 二次元カメラ15としては、半導体デバイスDの基板SiEを透過する波長の光を検出可能な撮像装置を用いてよい。二次元カメラ15として、CCD (Charge Coupled Device) イメージセンサ又はCMOS (Complementary Metal Oxide Semiconductor) イメージセンサを搭載したカメラを採用してよい。二次元カメラ15として、InGaAsカメラ又はMCTカメラ等を採用

用してもよい。なお、発光計測の際には、光源 1 2 からの照明光は、不要である。つまり、発光計測の際には、光源 1 2 を動作させる必要はない。

[0033] <マーキング部>

次に、マーキング部 2 0 について説明する。マーキング部 2 0 は、故障箇所を示すマークを付す。マーキング部 2 0 は、レーザ光源 2 1 と、レーザマーキング用光学系 2 2（第 2 の光学系）と、X Y Z ステージ 2 3（第 2 の駆動部）と、プロービングカメラ 2 4（第 2 の光検出部）と、照明光源 2 5 と、を有する。

[0034] マーキング部 2 0 は、解析部 1 0 において特定された故障箇所の周囲に、マークを付す。図 2（a）及び図 2（b）に示されるように、故障箇所 f p の周囲にマーキング箇所 m p が設定される。図 2（a）及び図 2（b）では、4 個のマーキング箇所 m p を図示する。レーザマーキングが完了した状態においては、図 2（c）に示されるように、半導体デバイス D のメタル層 M E を貫通する貫通穴が形成される。レーザマーキングは、貫通穴がメタル層 M E と基板 S i E との境界面 s s に達することにより、基板 S i E におけるメタル層 M E に接する面が露出する程度まで行われる。つまり、本明細書でいう「マーク」とは、メタル層 M E に形成された貫通穴を意味してもよい。また、本明細書でいう「マーク」とは、貫通穴から露出する基板 S i E を意味してもよい。

[0035] マーキング部 2 0 は、図 3 に示すように、レーザ光源 2 1 によって出力されたレーザ光を、レーザマーキング用光学系 2 2 を介して半導体デバイス D のマーキング箇所 m p に照射する。マーキング部 2 0 は、半導体デバイス D のメタル層 M E 側からマーキング箇所 m p にレーザ光を照射する。以下、マーキング部 2 0 の詳細について説明する。

[0036] 図 1 に示すように、レーザ光源 2 1 は、半導体デバイス D に照射されるレーザ光を出力する。レーザ光は、メタル層 M E に貫通穴を形成する。レーザ光源 2 1 は、計算機 4 0 から出力開始命令が入力されると、レーザ光の出力を開始する。レーザ光源 2 1 は、例えば固体レーザ光源及び半導体レーザ光

源等を採用してよい。レーザ光源 2 1 から出力される光の波長は、2 5 0 n m 以上 2 0 0 0 n m 以下である。

[0037] レーザマーキング用光学系 2 2 は、半導体デバイス D のマーキング箇所 m p にレーザ光を照射する。具体的には、レーザマーキング用光学系 2 2 は、半導体デバイス D のメタル層 M E 側からレーザ光を半導体デバイス D に照射する。換言すると、レーザマーキング用光学系 2 2 は、半導体デバイス D の表面 D 2 側からレーザ光を半導体デバイス D に照射する。レーザマーキング用光学系 2 2 は、対物レンズ 2 2 a 及び切替部 2 2 b を有している。切替部 2 2 b はレーザ光源 2 1 及びプロービングカメラ 2 4 の光路を切り替える。対物レンズ 2 2 a は、レーザ光をマーキング箇所 m p に集光する。対物レンズ 2 2 a は、半導体デバイス D の表面から来た光をプロービングカメラ 2 4 へ導く。

[0038] レーザマーキング用光学系 2 2 は、X Y Z ステージ 2 3 に載置されている。X Y Z ステージ 2 3 の Z 軸方向は、対物レンズ 2 2 a の光軸方向である。X Y Z ステージ 2 3 は、計算機 4 0 から制御命令を受ける。X Y Z ステージ 2 3 は、制御命令に応じて、Z 軸方向にレーザマーキング用光学系 2 2 を移動させる。また、X Y Z ステージ 2 3 は、制御命令に応じて、Z 軸方向に直交する X 軸方向及び Y 軸方向にレーザマーキング用光学系 2 2 を移動させる。なお、レーザマーキング用光学系 2 2 が X Y Z ステージ 2 3 を代替する光走査部を有し、半導体デバイス D の表面 D 2 上のマーキング箇所 m p にレーザ光を集光させてもよい。光走査部として、例えばガルバノミラー又は M E M S ミラー等の光走査素子を用いてよい。また、レーザマーキング用光学系 2 2 は、シャッタを備えてもよい。この構成によれば、シャッタによって、制御部 4 1 b からの制御によってレーザ光源 2 1 からのレーザ光を通過させたり遮ったりする。その結果、レーザ光の出力を制御することができる。

[0039] プロービングカメラ 2 4 は、半導体デバイス D の表面 D 2 側から、半導体デバイス D のメタル層 M E を撮像する。プロービングカメラ 2 4 は、撮像した撮像画像を計算機 4 0 に出力する。ユーザは、撮像画像を確認することに

より、半導体デバイスDの表面D2側から見たレーザマーキングの状況を把握することができる。照明光源25は、プロービングカメラ24で撮像する際に半導体デバイスDへ照明光を照明する。

[0040] <デバイス配置部>

デバイス配置部30は、半導体デバイスDを保持する。さらに、デバイス配置部30は、観察用光学系13に対する半導体デバイスDの位置を変更する。同様に、デバイス配置部30は、レーザマーキング用光学系22に対する半導体デバイスDの位置を変更する。デバイス配置部30は、サンプルステージ31と、ウェハチャック32と、XY駆動部33（第3の駆動部）と、を有する。

[0041] 従って、解析装置1は、観察用光学系13と、レーザマーキング用光学系22と、デバイス配置部30と、のそれぞれが駆動機構を有している。つまり、解析装置1は、3つの自由度を有する。3つの自由度を有する構成によれば、例えば、観察用光学系13を固定した状態で、レーザマーキング用光学系22及びデバイス配置部30を移動させることができる。さらに、観察用光学系13及びレーザマーキング用光学系22を固定した状態で、デバイス配置部30を移動させることもできる。「固定」とは、位置を変更しないことを意味する。例えば、「観察用光学系13及びレーザマーキング用光学系22を固定した状態」とは、観察用光学系13に対するレーザマーキング用光学系22の相対的な位置が維持される状態をいう。

[0042] サンプルステージ31には、ウェハチャック32が摺動可能に載置される。ウェハチャック32は、半導体デバイスDを保持するデバイス保持部32aを有する。デバイス保持部32aは、ウェハチャック32に設けられた貫通穴と、貫通穴を物理的にふさぐガラス板と、を含む。

[0043] ウェハチャック32は、アライメントターゲット50を有する。アライメントターゲット50（図4参照）は、ガラス板である。ガラス板の一方の面には、基準点bpを中心に放射状に伸びるパターンが設けられている。このパターンは例えば、金属膜である。一例としては、パターンはアルミニウム

の薄膜によって作成される。従って、パターンは、不透明部50bを構成する。ガラス板は、半導体デバイスDの基板SiEを透過する波長の光を透過する。その結果、ガラス板は、照明光源25及び光源12から出力される光も透過する。従って、パターンが設けられていない領域は、光透過部50aを構成する。ウェハチャック32は、アライメントターゲット50が配置されるターゲット穴32bを有している。アライメントターゲット50は、ターゲット穴32bを閉鎖するように配置される。この配置によれば、プロービングカメラ24及び二次元カメラ15は、ガラス板の一面に設けられたパターンの像を取得することができる。

[0044] アライメントターゲット50は、ウェハチャック32に設けられている。つまり、ウェハチャック32において、デバイス保持部32aが設けられた位置は、アライメントターゲット50が設けられた位置と異なる。XY駆動部33によってウェハチャック32の位置が変更された場合には、半導体デバイスDの位置及びアライメントターゲット50の位置が同時に変更される。つまり、ウェハチャック32に取り付けられた半導体デバイスDに対するアライメントターゲット50の位置は、不変である。

[0045] XY駆動部33は、計算機40からの制御命令に応じて、ウェハチャック32をX軸方向又はY軸方向に移動させる。その結果、観察用光学系13を移動させることなく、観察エリアを変更することができる。同様に、レーザーマーキング用光学系22を移動させることなく、レーザー光の照射位置を変更することができる。

[0046] なお、デバイス配置部30の具体的な構成は、上記の構成に限定されない。デバイス配置部30は、半導体デバイスDを保持する機能と、半導体デバイスDをX軸方向及びY軸方向の少なくとも一方へ移動させる機能と、を奏する構成を採用してよい。例えば、サンプルステージ31及びXY駆動部33に代えて、ウェハチャック32をX軸方向及びY軸方向の少なくとも一方へ移動させるXYステージを有してもよい。

[0047] <計算機>

計算機 4 0 は、パーソナルコンピュータなどのコンピュータである。計算機 4 0 は、物理的には、RAM、ROM等のメモリ、CPU等のプロセッサ（演算回路）、通信インターフェイス、ハードディスク等の格納部を備えて構成されている。計算機 4 0 としては、例えばパーソナルコンピュータ、クラウドサーバ、スマートデバイス（スマートフォン、タブレット端末など）などが挙げられる。計算機 4 0 は、メモリに格納されるプログラムをコンピュータシステムのCPUで実行することにより機能する。計算機 4 0 は、機能的な構成要素として、条件設定部 4 1 a と、制御部 4 1 b と、画像処理部 4 1 c と、を有する。

[0048] <条件設定部>

条件設定部 4 1 a は、入力部 4 1 e から入力された故障箇所 f p を示す情報に基づいて、マーキング箇所 m p を設定する。特定された故障箇所 f p の周囲には、数か所のマーキング箇所 m p が設定される。数か所とは例えば4箇所である。条件設定部 4 1 a は、例えば故障箇所 f p を示す情報が入力された場合には、故障箇所 f p を中心として、故障箇所 f p の周囲の4箇所に、マーキング箇所 m p を自動的に設定する。具体的には、条件設定部 4 1 a は、例えば平面視において、故障箇所 f p を中心とした十字状にマーキング箇所 m p を設定する（図 2（a）及び図 2（b）参照）。なお、マーキング箇所 m p は、表示部 4 1 d に表示された解析画像を見たユーザからのマーキング箇所 m p を示す情報の入力を入力部 4 1 e が受け付けることより設定されてもよい。この場合、条件設定部 4 1 a は、マーキング箇所 m p を自動的に設定しない。条件設定部 4 1 a は、入力部 4 1 e から入力されるマーキング箇所 m p を示す情報に基づいて、マーキング箇所 m p を設定する。条件設定部 4 1 a は、リファレンス画像を生成する。リファレンス画像は、解析画像に対して、故障箇所 f p を示す目印と、マーキング箇所 m p を示す目印と、を付加したものである。条件設定部 4 1 a は、リファレンス画像を計算機 4 0 のメモリに保存する。

[0049] <制御部>

制御部41bは、二次元カメラ15の視野に故障箇所の観察エリアが収まるように、解析部10のXYZステージ14を制御する。制御部41bは、観察用光学系13の光軸にレーザマーキング用光学系22の光軸が一致するように、マーキング部20のXYZステージ23を制御する。制御部41bは、レーザマーキング用光学系22の光軸がマーキング箇所mpに重複するように、デバイス配置部30のXY駆動部33を制御する。

[0050] 制御部41bは、レーザ光源21も制御する。制御部41bは、画像処理部41cによってマーク像が現れたと判断された場合に、レーザ光源21に対して出力停止信号を出力する。レーザ光源21は、出力停止信号が入力された場合に、レーザ光の出力を停止する。このため、レーザ光源21は、制御部41bによって出力開始信号が入力されてから出力停止信号が入力されるまでの間レーザ光を出力し続ける。以上より、制御部41bは、レーザマーキングによって形成されるマーク像がパターン画像に現れるまでレーザマーキングが行われるように、レーザ光源21を制御する。また、レーザ光の貫通閾値が設定されているので、制御部41bは、レーザ光がメタル層MEを貫通するまでレーザマーキングが行われるように、レーザ光源21を制御する。

[0051] <画像処理部>

計算機40は、ケーブルを介して二次元カメラ15に電氣的に接続されている。計算機40は、二次元カメラ15から入力された画像データを利用して、パターン画像及び発光画像を作成する。ここで、上述した発光画像だけでは、半導体デバイスDのパターンにおける発光位置を特定することが難しい。そこで、計算機40は、解析画像として、半導体デバイスDからの反射光に基づくパターン画像と半導体デバイスDからの発光に基づく発光画像とを重畳させた重畳画像を生成する。

[0052] 画像処理部41cは、マーキング画像を作成する。マーキング画像は、マーク像を含むパターン画像と発光画像とが重畳されている。作成されたマーキング画像は、計算機40のメモリに保存される。また、画像処理部41c

は、マーキング画像を表示部41dに表示する。マーキング画像により、ユーザは、後工程において、故障箇所の位置に対するマーキング位置を正確に把握することができる。また、画像処理部41cは、マーキング情報を取得する。マーキング情報とは、故障箇所の位置に対するマーキング位置を把握するために必要な情報である。マーキング情報として、例えば、マーキング位置から故障箇所までの位置の距離、及び故障箇所の位置を基準にしたマーキング位置の方位などが挙げられる。取得されたマーキング情報は、リストとして表示してもよい。また、マーキング情報は、マーキング画像に付加して表示してもよい。また、マーキング情報は、紙媒体で出力してもよい。

[0053] 計算機40は、解析画像を表示部41dに出力する。表示部41dは、ユーザに解析画像等を示すためのディスプレイ等の表示装置である。ユーザは、表示部41dに表示された解析画像から故障箇所の位置を確認することができる。また、ユーザは、入力部41eを用いて故障箇所を示す情報を入力する。入力部41e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。入力部41eは、故障箇所を示す情報を計算機40に出力する。なお、計算機40、表示部41d、及び入力部41eは、タブレット端末であってもよい。

[0054] なお、画像処理部41cは、レーザ光の照射を停止させる制御命令を制御部41bに出力させてもよい。レーザ光の照射を停止させる制御命令は、パターン画像に現れるマーク像を利用して生成される。具体的には、画像処理部41cは、レーザ光源21が出力したレーザ光によるレーザマーキングと並行して、パターン画像を順次生成する。レーザマーキングによって、マーキング箇所mpのメタル層MEには穴が形成される。メタル層MEの穴が浅いときには、マーキング位置での反射光の強度変化が小さく光学反射像の変化も小さい。換言すると、レーザマーキングにより形成される穴がメタル層MEにのみ形成され基板SiEにまで到達していないときには、マーキング位置での反射光の強度変化が小さい。従って、光学反射像の変化も小さい。その結果、レーザマーキングの影響は、パターン画像に現れない。一方、メ

タル層MEの穴が深くなると、裏面D1側の光の屈折率、透過率、及び反射率の少なくともいずれか1つの変化が大きくなる。具体的には、穴がメタル層MEと基板SiEとの境界面ssに達する程度に深くなると、裏面D1側の光の屈折率、透過率、及び反射率の少なくともいずれか1つの変化が大きくなる。これらの変化に起因して、マーキング位置での反射光の強度変化が大きくなる。その結果、パターン画像にはマーキング箇所を示すマーク像が現れる。

[0055] 画像処理部41cは、例えば、上述したリファレンス画像と、パターン画像とを比較する。比較の結果、画像の差異が予め定めた規定値よりも大きくなっている場合に、画像処理部41cは、マーク像が現れたと判断する。規定値を予め設定しておくことにより、マーク像が現れたと判断されるタイミングを決定することができる。

[0056] なお、画像処理部41cは、ユーザからの入力内容に応じて、マーク像が現れたか否かを判断してもよい。また、画像処理部41cは、マーク像が現れたと判断した場合において、リファレンス画像とパターン画像とを比較する。そして、パターン画像のマーク形成箇所が、リファレンス画像のマーキング箇所mpとずれている場合には、画像処理部41cは、マークの位置ずれが生じていると判断してもよい。この場合、正しいマーキング箇所mpにマークが形成されるように再度レーザマーキングを行ってもよい。

[0057] 次に、解析装置1のマーキング処理について図5～図8を用いて説明する。図5は、解析装置1のマーキング処理の主要な工程を示すフロー図である。

[0058] <解析工程S10>

まず、半導体デバイスDの故障箇所を特定する(S10)。制御部41bは、工程S10のための解析命令を解析部10に出力する。具体的には、図6(a)に示すように、観察用光学系13の視野に観察したいエリアを捉えるように、XYZステージ14は、X軸方向及びY軸方向を制御して観察用光学系13を移動させる。次に、観察したいエリアに対物レンズ13aの焦

点位置があうように、XYZステージ14のZ軸方向を制御して、観察用光学系13を移動させる。次に、光源12は、半導体デバイスDに光を照射する。そして、二次元カメラ15は、半導体デバイスDからの反射光を受ける。二次元カメラ15は、反射光に基づいて光学反射像を生成する。そして、二次元カメラ15は、光学反射像を計算機40に出力する。光学反射像が出力された後に、光源12は、半導体デバイスDへの光の照射を停止する。続いて、テストユニット11は、半導体デバイスDに刺激信号を印加する。そして、二次元カメラ15は、刺激信号に起因する光を受ける。二次元カメラ15は、刺激信号に起因する光に基づいて発光像を生成する。そして、二次元カメラ15は、発光像を計算機40に出力する。画像処理部41cは、光学反射画像と発光画像とが重畳された解析画像を生成する。次に、解析画像を利用して、故障箇所fpが特定される。

[0059] 上述したように、解析工程が行われている期間において、半導体デバイスDに対する観察用光学系13の位置関係は、観察用光学系13の視野に観察エリアが含まれている。そして、解析工程が行われている期間において、半導体デバイスDに対する観察用光学系13の位置関係は、維持される。一方、解析工程が行われている期間において、半導体デバイスDに対するレーザーマーキング用光学系22の位置は、特に制限はない。例えば、レーザーマーキング用光学系22の光軸は、観察用光学系13の光軸に対して一致していてもよいし、一致していなくてもよい。通常は、光軸の位置合わせを行わない限り、レーザーマーキング用光学系22の光軸は、観察用光学系13の光軸に対して一致しない。本実施形態の解析方法では、上述した解析工程の前に、光軸の位置合わせを実施してもよいが、必須ではない。本実施形態の解析方法において、光軸の位置合わせは、解析工程が完了した後に実施する。

[0060] <アライメント工程S20>

次に、観察用光学系13とレーザーマーキング用光学系22との位置合わせを行う(S20)。制御部41bは、工程S20のためのアライメント命令をマーキング部20及びデバイス配置部30に出力する。以下の説明では、

アライメント工程を実施する直前において、観察用光学系13の光軸は、半導体デバイスDの故障箇所と交差している状態を例示する。まず、図6(b)に示すように、観察用光学系13の視野にアライメントターゲット50を捉えるように、XY駆動部33は、X軸方向及びY軸方向を制御してウェハチャック32を移動させる(S21)。この移動を「半導体デバイスDの退避」とも称する。このとき、制御部41bは、半導体デバイスD(ウェハチャック32)の移動量を記憶する。

[0061] 次に、図7(a)に示すように、レーザマーキング用光学系22の視野にアライメントターゲット50を捉えるように、XYZステージ23は、X軸方向及びY軸方向を制御してレーザマーキング用光学系22を移動させる(S22)。次に、照明光源25は、アライメントターゲット50に向けて照明光を出力する。照明光は、アライメントターゲット50の光透過部50aを透過して、観察用光学系13に入射する。入射した照明光は、プロービングカメラ24に捉えられる。プロービングカメラ24は、透過像を計算機40に出力する。また、照明光は、アライメントターゲット50の不透明部50bで反射する。反射した光は、レーザマーキング用光学系22に再び入射する。そして、入射した反射光は、プロービングカメラ24に捉えられる。プロービングカメラ24は、反射像を計算機40に出力する。画像処理部41cは、透過像及び反射像を用いて、観察用光学系13の光軸に対するレーザマーキング用光学系22の光軸のずれを算出する。このずれが許容範囲に収まるまで、レーザマーキング用光学系22の移動と、ずれ量の確認と、を繰り返し行う。ずれが許容範囲に収まったと判定されたとき、光軸の位置合わせが完了する。

[0062] 光軸の位置合わせが完了した後に、図7(b)に示すように、観察用光学系13の視野に半導体デバイスDの故障位置を捉えるように、XY駆動部33は、X軸方向及びY軸方向を制御してウェハチャック32を移動させる(S23)。このとき、制御部41bは、半導体デバイスDの退避時に記憶した移動量に基づいて、XY駆動部33を制御してよい。また、二次元カメラ

15及びプロービングカメラ24から出力される画像データを用いて、レーザーマーキング用光学系22と半導体デバイスDとの相対的な位置を制御してもよい。この場合にも、移動の対象は、半導体デバイスDのみである。そして、この工程における半導体デバイスDの移動を「半導体デバイスDの復帰」とも称する。つまり、光軸の位置合わせが完了した直後は、半導体デバイスDが退避しているため、観察用光学系13及びレーザーマーキング用光学系22の視野に半導体デバイスDは存在しない。そこで、光軸の位置合わせが完了した後に、観察用光学系13及びレーザーマーキング用光学系22の視野に半導体デバイスDを収める。より詳細には、観察用光学系13の光軸及びレーザーマーキング用光学系22の光軸に、半導体デバイスDの故障箇所を一致させる。つまり、位置合わせが完了した後に移動させるものは、半導体デバイスDである。換言すると、位置合わせが完了した後は、観察用光学系13及びレーザーマーキング用光学系22は、移動させない。その結果、観察用光学系13及びレーザーマーキング用光学系22の相対的な位置関係は、位置合わせの結果が維持される。

[0063] <マーキング工程S30>

図8に示すように、マーキング箇所mpへのレーザーマーキングを実行する(S30)。制御部41bは、工程S30のためのマーキング命令をマーキング部20及びデバイス配置部30に出力する。具体的には、レーザー光源21は、レーザー光を出力する。レーザーマーキングは、設定されたマーキング箇所mpのすべてに対して実行する。なお、それぞれのマーキング箇所mpへのレーザー光の出力動作において、画像処理部41cは、パターン画像上にマーク像が現れたか否かを判定してもよい。パターン画像上にマーク像が現れていないと判定された場合には、再度、レーザー光の照射を実行する。このレーザー光の照射動作と並行して、画像処理部41cは、パターン画像を生成する。

[0064] 以下、本実施形態の半導体故障解析装置1の作用効果について説明する。

[0065] 半導体故障解析装置1及び半導体故障解析方法では、まず、マーキング部

20が有するレーザマーキング用光学系22の光軸を、ウェハチャック32に設けられたアライメントターゲット50に基づいて解析部10が有する観察用光学系13の光軸に合わせる。その後、観察用光学系13の光軸とレーザマーキング用光学系22の光軸との位置関係を維持した状態で、半導体デバイスDに設定されるマーキング位置にレーザ光を照射させる。つまり、観察用光学系13の光軸とレーザマーキング用光学系22の光軸とを合わせた後は、観察用光学系13及びレーザマーキング用光学系22は、一方が他方に対して相対的に移動しない。従って、移動によって生じ得る移動指令値が示す位置と実際の位置とのずれは生じない。その結果、解析部10が示す故障箇所の位置に対して、マーキング部20によって付されるマークが示す位置のずれを低減することができる。

[0066] 制御部41bは、アライメント命令を出力する前に、解析部10によって半導体デバイスDの故障箇所を解析する解析命令を解析部10に出力する。この構成によれば、故障箇所の位置を精度よく示すマークを付することができる。

[0067] マーキング命令は、XY駆動部33によってウェハチャック32をマーキング位置に移動させた後に、半導体デバイスDにレーザ光を照射させてもよい。この構成によれば、観察用光学系13の光軸にレーザマーキング用光学系22の光軸を合わせた後に、観察用光学系13及びレーザマーキング用光学系22の相対的な位置に加えて絶対的な位置も維持したまま、半導体デバイスDの所望の位置にレーザ光を照射することができる。その結果、マーキング部20によって付されるマークが示す位置のずれをさらに低減することができる。

[0068] アライメント命令は、二次元カメラ15に一方の側からのアライメントターゲット50の第1の画像を取得させ、プロービングカメラ24に他方の側からのアライメントターゲット50の第2の画像を取得させ、第1の画像及び第2の画像に基づいてレーザマーキング用光学系22の光軸を観察用光学系13の光軸に合わせるように第2の駆動部を移動させる。この構成によれ

ば、観察用光学系 1 3 の光軸にレーザマーキング用光学系 2 2 の光軸を合わせる動作を確実に行うことができる。

[0069] アライメントターゲット 5 0 は、ウェハチャック 3 2 において半導体デバイス D が保持されるデバイス保持部 3 2 a とは異なる場所に設けられる。この構成によれば、半導体デバイス D の種類によらず、観察用光学系 1 3 の光軸にレーザマーキング用光学系 2 2 の光軸を合わせることができる。

[0070] 二次元カメラ 1 5 は、アライメントターゲット 5 0 を一方の側から見た第 1 の画像を取得する。プロービングカメラ 2 4 は、ターゲットを他方の側から見た第 2 の画像を取得する。この構成によっても、観察用光学系 1 3 の光軸にレーザマーキング用光学系 2 2 の光軸を合わせる動作を確実に行うことができる。

[0071] アライメントターゲット 5 0 は、二次元カメラ 1 5 及びプロービングカメラ 2 4 が検出可能な光を透過する光透過部 5 0 a を含む。この構成によっても、観察用光学系 1 3 の光軸にレーザマーキング用光学系 2 2 の光軸を合わせる動作を確実に行うことができる。

[0072] 以上、本発明の実施形態について説明したが、本発明は上記実施形態に限定されない。

[0073] 例えば、レーザ光がメタル層 ME を貫通し、基板 S i E におけるメタル層 ME に接する面が露出する程度までレーザマーキングが行われるとして説明した。しかし、この態様には、限定されない。レーザマーキングによる穴の深さは、マーク像がパターン画像に現れる程度であればよい。具体的には、例えば、メタル層 ME を貫通すると共に基板 S i E におけるメタル層 ME に接する面が露出した後も更にレーザマーキングが行われてもよい。例えばメタル層 ME の厚さが $10\ \mu\text{m}$ であり、基板 S i E の厚さが $500\ \mu\text{m}$ である場合に、基板 S i E におけるメタル層 ME に接する面から更に $1\ \mu\text{m}$ 程度深く、レーザマーキングによる穴が形成されてもよい。また、レーザマーキングは必ずしもメタル層 ME を貫通するように行われなくてもよい。例えば、メタル層 ME の厚さが $10\ \mu\text{m}$ であり、基板 S i E の厚さが $500\ \mu\text{m}$ であ

る場合に、レーザマーキングによる穴が形成された箇所のメタル層MEの厚さが50nm程度であってもよい。つまり、穴は、基板SiEにおけるメタル層MEに接する面に到達しなくてもよい。

[0074] パターン画像の生成はレーザマーキングが行われている間に行われるとして説明した。しかし、この態様には限定されない。例えば、レーザ光の出力が停止しているときに、パターン画像が生成されてもよい。この場合、レーザ光の出力及びレーザ光の停止すなわちパターン画像の生成は、所定の間隔で交互に行われてもよい。

[0075] レーザ光源21から出力されるレーザ光の波長が1000ナノメートル以上の場合、観察用光学系13は、1000ナノメートル以上である波長のレーザ光のみを遮る光学フィルタを有してもよい。このため、レーザ光源21から出力されたレーザ光が半導体デバイスDの基板SiEを透過した場合であっても、レーザ光が観察用光学系13において遮光される。その結果、レーザ光によって光検出器が破壊されることを抑制することができる。

[0076] レーザ光源21から出力されるレーザ光の波長が1000ナノメートル未満であってもよい。この場合、例えば半導体デバイスDがシリコン基板などの基板により構成されている場合には、基板にレーザ光が吸収される。その結果、光学フィルタ等を備えることなく、二次元カメラ15等の光検出器がレーザ光により破壊されることを抑制することができる。

[0077] 半導体デバイスDに刺激信号を印加する構成要素は、テストユニット11に限られない。半導体デバイスDに刺激信号を印加する構成要素である刺激信号印加部として、半導体デバイスDに電圧又は電流を印加する装置を採用してよい。そして、これらの装置を用いて、半導体デバイスDに刺激信号を印加してもよい。

符号の説明

[0078] 1…半導体故障解析装置、10…解析部、11…テストユニット、12…光源、13…観察用光学系（第1の光学系）、14…XYZステージ（第1の駆動部）、15…二次元カメラ（第1の光検出部）、20…マーキング部、

2 1 …レーザ光源、2 2 …レーザマーキング用光学系（第2の光学系）、2 3 …X Y Zステージ（第2の駆動部）、2 4 …プロービングカメラ（第2の光検出部）、2 5 …照明光源、3 0 …デバイス配置部、3 1 …サンプルステージ、3 2 …ウェハチャック、3 3 …X Y駆動部（第3の駆動部）、3 2 a …デバイス保持部、3 2 b …ターゲット穴、4 0 …計算機、4 1 a …条件設定部、4 1 b …制御部、4 1 c …画像処理部、4 1 e …入力部、4 1 d …表示部、5 0 …アライメントターゲット、5 0 a …光透過部、5 0 b …不透明部、D …半導体デバイス、ME …メタル層、f p …故障箇所、m p …マーキング箇所。