

明 細 書

発明の名称：不良検出装置及び不良検出方法

技術分野

[0001] 本発明は、超音波を用いて検査対象物の不良の検出を行う不良検出装置の構造及び超音波を用いて不良の検出を行う不良検出方法に関する。

背景技術

[0002] 半導体装置の製造においては基板に半導体ダイを接合したり、半導体ダイの上に半導体ダイを接合したりするダイボンディングが行われる。ダイボンディングにおいては、基板と半導体ダイとの接合面或いは半導体ダイと上に接合する半導体ダイとの接合面に接合不良が発生する場合がある。このため、基板と半導体ダイとの接合面或いは半導体ダイ同士の接合面の接合状態の検査が行われる。

[0003] このような接合面は、外部から直接観察することはできないので、例えば、走査型音響顕微鏡等（例えば、特許文献 1 参照）を用いた検査が行われていた。

[0004] また、不良を内在する検査対象物に超音波振動を入射するとクラック等の不良の存在する部分の温度が他の部分よりも高くなることが知られている。この原理に基づいて、超音波振動子から発生させた超音波振動を検査対象物に入射させ、赤外線サーモグラフィで検査対象物の表面の温度分布画像を取得し、温度の高い部分を不良として検出する非破壊検査装置が用いられている（例えば、特許文献 2 参照）。

先行技術文献

特許文献

[0005] 特許文献1：特開昭 6 1－2 5 4 8 3 4 号公報

特許文献2：特開 2 0 1 6－1 9 1 5 5 2 号公報

発明の概要

発明が解決しようとする課題

[0006] しかし、特許文献 1 に記載された走査型音響顕微鏡は、検査対象物の上を走査することが必要なため検査装置が複雑になると共に、検査に時間が掛かってしまうという問題があった。

[0007] また、特許文献 2 に記載された従来技術の検査装置は、超音波振動による検査対象物の温度上昇の差分に基づいて不良の検出を行うものである。このため、検査対象物に超音波振動を印加してから検査対象物の温度が不良の検出に必要な程度まで上昇するまでの間は不良の検出ができず、不良の検出に時間が掛かってしまうという問題があった。

[0008] そこで、本発明は、簡便な構成で短時間に半導体ダイの接合面の不良の検出が可能な不良検出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

[0009] 本発明の不良検出装置は、検査対象物の不良を検出する不良検出装置であって、検査対象物を超音波加振する超音波加振器と、検査対象物にコヒーレント光を照射するコヒーレント光源と、コヒーレント光が照射された検査対象物を撮像して画像を取得する撮像素子を有するカメラと、カメラが撮像した画像に基づいて検査対象物の不良の検出を行う検出部と、を備え、検出部は、カメラが取得した検査対象物の静止時の画像と超音波振動時の画像との偏差に基づいて検査対象物の不良の検出を行うこと、を特徴とする。

[0010] このように、検査対象物にコヒーレント光を照射して超音波加振し、静止時の画像と超音波加振時の画像との偏差に基づいて不良の検出を行うので、カメラを走査する必要が無く、簡便な構成で短時間に不良の検出を行うことができる。

[0011] 本発明の不良検出装置において、カメラは、撮像の際の露光時間が検査対象物の超音波振動の周期よりも長く、検査対象物の表面で反射したコヒーレント光の干渉により発生する干渉パターンを含む画像を取得し、検出部は、カメラが取得した検査対象物の静止時の干渉パターンを含む画像と超音波振動時の干渉パターンを含む画像との偏差に基づいて検査対象物の不良の検出を行ってもよい。

- [0012] 検査対象物の表面にコヒーレント光を照射すると、反射によるコヒーレント光の干渉による干渉パターンがカメラの撮像素子の表面に出現する。カメラの撮像素子は、この干渉パターンを画像として取得する。撮像の際のカメラの露光時間は検査対象物の振動周期よりも長いので、検査対象物が振動すると、カメラは、ぶれた干渉パターンの画像を取得する。干渉パターンの画像がぶれると、静止時の場合に比べて画素の明るさの強度が変化する。半導体ダイの接合面の不良の様に検査対象物に内在する不良があると、不良の部分は、超音波加振によって振動する。このため、不良の部分では干渉パターンの画像がぶれ、静止時の場合に比べて画素の明るさの強度が変化する。このことから、静止時の干渉パターンを含む画像と超音波振動時の干渉パターンを含む画像との偏差に基づいて検査対象物の不良の検出を行うことができる。
- [0013] 本発明の不良検出装置において、検出部は、偏差に基づいて振動発生画素を特定し、特定した振動発生画素が所定値以上に密集している領域を不良領域に設定し、不良を検出してもよい。
- [0014] 接合不良による振動により干渉パターンの画像がぶれると、静止時の場合に比べて画素の明るさの強度が変化する。このため、振動時の明るさの強度が静止時の明るさの強度から変化している画素を振動発生画素と特定し、特定した振動発生画素が所定値以上に密集している領域を不良領域に設定し、不良を検出することができる。
- [0015] 本発明の不良検出装置において、検出部は、特定した振動発生画素の周囲の所定範囲に所定個数の他の振動発生画素が存在する場合には、その画素の振動発生画素の特定を維持し、所定範囲に所定個数の振動発生画素が存在しない場合には、その画素の振動発生画素の特定を取り消してもよい。
- [0016] これにより、ノイズによって実際に振動していない画素を振動発生画素と特定することを抑制して精度よく振動の検出を行うことができる。
- [0017] 本発明の不良検出装置において、検査対象物の画像を表示するディスプレイを含み、検出部は、検査対象物の画像に、特定した振動発生画素に対応す

る表示を含ませた可視化画像をディスプレイに表示してもよい。

[0018] これにより、検査対象物が内在する不良により振動が発生している部分を可視化して表示することができる。

[0019] 本発明の不良検出装置において、コヒーレント光は、レーザ光であり、コヒーレント光源は、検査対象物に単一波長の平行レーザ光を照射してもよい。

[0020] 単一波長の平行レーザ光を照射することにより、レーザ光の干渉パターンがより明確に出現し、カメラで撮像する斑点模様がより明確になる。これにより、より精度よく振動の検出を行うことができる。

[0021] 本発明の不良検出装置において、超音波加振器に高周波電力を供給する駆動ユニットと、駆動ユニットから超音波加振器に供給される高周波電力の周波数を調整する制御部と、を備え、制御部は、検出部が検査対象物の不良の検出を行う際に、駆動ユニットから超音波加振器に供給する高周波電力の周波数を変化させてもよい。

[0022] 検査対象物の大きさ、硬さや不良の部分の状態等によって不良の部分が振動しやすい周波数が変化する。このため、超音波加振の周波数を変化させて様々な周波数で検査対象物を超音波加振することにより、不良検出の精度を向上させることができる。

[0023] 本発明の不良検出装置において、駆動ユニットから超音波加振器に供給される高周波電力の電流を検出する電流センサを備え、制御部は、駆動ユニットから超音波加振器に供給される高周波電力の周波数を変化させる際に、電流センサで検出した電流が所定の範囲内となるように駆動ユニットから超音波加振器に供給される高周波電力の電圧を調整してもよい。

[0024] 超音波加振器にはそれ自体が共振を起こす周波数がある。このため、超音波加振の際に共振周波数の高周波電力を超音波加振器に入力すると、共振により超音波加振器のインピーダンスが低下し、超音波加振器の振幅が大きくなってしまい、検査対象物全体が大きく振動する。これにより、対象部の振幅が非対象物の振幅に隠れて検出できなくなる場合がある。超音波加振器

の振幅は、超音波加振器に入力される高周波電力の電流に比例するので、超音波加振器に入力される高周波電力の電流を電流センサで検出し、検出した電流が所定の範囲内となるように高周波電力の電圧を調整することにより、高周波電力の電流を所定の範囲内として超音波加振器の振幅を所定の範囲内とすることができる。これにより、検査対象物を超音波加振した際に検査対象物全体が大きく振動し、対象部の振幅が非対象物の振幅に隠れて検出できなくなることを抑制でき、高精度に検査対象物の対象部の不良を検出することができる。

[0025] 本発明の不良検出装置において、制御部は、駆動ユニットから超音波加振器に供給される高周波電力の電流が所定の範囲内となるように、駆動ユニットから超音波加振器に供給される高周波電力の周波数に対する駆動ユニットから超音波加振器に供給される高周波電力の電圧の変化を予め規定したマップを含み、駆動ユニットから超音波加振器に供給される高周波電力の周波数を変化させる際に、マップに基づいて駆動ユニットから超音波加振器に供給される高周波電力の電圧を調整してもよい。

[0026] これにより、電流センサで検出した電流のフィードバックにより高周波電力の電圧を調整する必要がなく、簡便な構成で検査対象物を超音波加振した際に検査対象物全体が大きく振動し、対象部の振幅が非対象物の振幅に隠れて検出できなくなることを抑制でき、高精度に検査対象物の対象部の不良を検出することができる。

[0027] 本発明の不良検出装置において、超音波加振器は、検査対象物の周囲に配置された超音波スピーカ、又は、検査対象物に接続されて検査対象物を超音波振動させる超音波振動子でもよい。

[0028] これにより、検査対象物の種類、大きさ等に基づいて適切な超音波加振器を選定して不良検出装置を構成することができる。

[0029] 本発明の不良検出装置において、超音波加振器は、検査対象物の周囲に配置された指向性を有する複数の超音波スピーカで構成されており、複数の超音波スピーカは、各超音波スピーカから発生した複数の超音波が検査

対象物に集中するようにケーシングに取付けられてもよい。

- [0030] このように、複数の超音波スピーカーからの超音波を検査対象物に集中させて検査対象物を間接的に超音波加振して不良の検出を行うので、検査対象物に直接的に超音波振動を入射させる場合に比べて簡便な構造で不良の検出を行うことができる。また、検査対象物を間接的に超音波加振するので、非接触で検査対象物の不良の検出を行うことができる。
- [0031] 本発明の不良検出装置において、複数の超音波スピーカーにそれぞれ高周波電力を供給する複数の駆動ユニットと、各駆動ユニットから各超音波スピーカーに供給される高周波電力の周波数を調整する制御部と、を備え、制御部は、検出部が検査対象物の不良の検出を行う際に、各駆動ユニットから各超音波スピーカーに供給する高周波電力の周波数を変化させてもよい。
- [0032] 複数の超音波スピーカーによって検査対象物を超音波加振した際にも、超音波加振の周波数を変化させて様々な周波数で検査対象物を超音波加振することにより、不良検出の精度を向上させることができる。
- [0033] 本発明の不良検出装置において、各駆動ユニットから各超音波スピーカーに供給される高周波電力の電流をそれぞれ検出する電流センサを備え、制御部は、各駆動ユニットから各超音波スピーカーに供給される高周波電力の周波数を変化させる際に、各電流センサで検出した電流が所定の範囲内となるように各駆動ユニットから各超音波スピーカーに供給される高周波電力の電圧を調整してもよい。
- [0034] これにより、複数の超音波スピーカーによって検査対象物を超音波加振した際にも、高精度に検査対象物の対象部の不良を検出することができる。
- [0035] 本発明の不良検出装置において、制御部は、各駆動ユニットから各超音波スピーカーに供給される高周波電力の電流がそれぞれ所定の範囲内となるように、各駆動ユニットから各超音波スピーカーに供給される高周波電力の周波数に対する各駆動ユニットから各超音波スピーカーに供給される高周波電力の電圧の変化を予め規定したマップを含み、各駆動ユニットから各超音波スピーカーに供給される高周波電力の周波数を変化させる際に、マップに基

づいて各駆動ユニットから各超音波スピーカーに供給される高周波電力の電圧を調整してもよい。

[0036] これにより、複数の超音波スピーカーによって検査対象物を超音波加振した際にも、簡便な構成で高精度に検査対象物の対象部の不良を検出することができる。

[0037] 本発明の不良検出装置において、制御部は、各駆動ユニットによって各超音波スピーカーが発生する各超音波の各位相をそれぞれ調整してもよい。

[0038] これにより、複数の超音波スピーカーによって検査対象物を超音波加振する際に、各超音波を重ね合わせて検出領域における超音波振動を大きくし、効果的に検査対象物を超音波加振することができる。

[0039] 本発明の不良検出方法は、検査対象物の不良を検出する不良検出方法であって、検査対象物にコヒーレント光を照射し、検査対象物をカメラで撮像して検査対象物の静止時の画像を取得する静止時画像取得ステップと、検査対象物にコヒーレント光を照射しながら超音波加振器によって検査対象物を超音波加振し、検査対象物をカメラで撮像して検査対象物の超音波振動時の画像を撮像する超音波振動時画像取得ステップと、カメラで取得した検査対象物の静止時の画像と超音波振動時の画像との偏差に基づいて検査対象物の不良の検出を行う不良検出ステップと、を含むこと、を特徴とする。

[0040] 本発明の不良検出方法において、静止時画像取得ステップは、カメラで検査対象物の表面で反射したコヒーレント光の干渉により発生する静止時の干渉パターンを含む画像を取得し、超音波振動時画像取得ステップは、カメラの露光時間を検査対象物の超音波振動の周期よりも長くして、カメラで検査対象物の表面で反射したコヒーレント光の干渉により発生する超音波振動時の干渉パターンを含む画像を取得し、不良検出ステップは、カメラで取得した検査対象物の静止時の干渉パターンを含む画像と超音波振動時の干渉パターンを含む画像との偏差に基づいて検査対象物の不良の検出を行ってもよい。

[0041] 本発明の不良検出方法において、不良検出ステップは、偏差に基づいて振

動発生画素を特定し、特定した振動発生画素が所定値以上に密集している領域を不良領域に設定し、不良を検出してもよい。

[0042] 本発明の不良検出方法において、不良検出ステップは、特定した振動発生画素の周囲の所定範囲に所定個数の他の振動発生画素が存在する場合には、その画素の振動発生画素の特定を維持し、所定範囲に所定個数の振動発生画素が存在しない場合には、その画素の振動発生画素の特定を取り消してもよい。

[0043] 本発明の不良検出方法において、検査対象物の画像に、特定した振動発生画素に対応する表示を含ませた可視化画像をディスプレイに表示する表示ステップを更に含んでもよい。

[0044] 本発明の振動検出装置は、検査対象物の振動を検出する振動検出装置であって、検査対象物を超音波加振する超音波加振器と、検査対象物にコヒーレント光を照射するコヒーレント光源と、コヒーレント光が照射された検査対象物を撮像して画像を取得する撮像素子を有するカメラと、カメラが撮像した画像を処理して振動発生箇所を特定する検出部と、を備え、カメラは、撮像の際の露光時間が検査対象物の超音波振動の周期よりも長く、検査対象物の表面で反射したコヒーレント光の干渉により発生する干渉パターンを含む画像を取得し、検出部は、カメラが取得した検査対象物の静止時の干渉パターンを含む画像と超音波振動時の干渉パターンを含む画像との偏差に基づいて検査対象物の振動発生箇所の特定を行うこと、を特徴とする。

[0045] 本発明の振動検出装置において、検査対象物の画像を表示するディスプレイを含み、検出部は、偏差に基づいて振動発生箇所を示す振動発生画素を特定し、検査対象物の画像に、特定した振動発生画素に対応する表示を含ませた可視化画像をディスプレイに表示してもよい。

発明の効果

[0046] 本発明は、簡便な構成で短時間に半導体ダイの接合面の不良の検出が可能な不良検出装置を提供できる。

図面の簡単な説明

[0047] [図1]実施形態の不良検出装置の構成を示す立面図である。

[図2]半導体装置が超音波加振されていない静止時に半導体ダイの表面で反射した平行レーザ光がカメラの撮像素子に入る状態を示す模式図である。

[図3]図2の状態ではカメラが撮像する画像を示す模式図である。

[図4]半導体装置が超音波加振された際の接合不良部の振動を示す模式図である。

[図5]半導体装置が超音波加振されて接合不良部が振動した際の、半導体ダイの表面で反射した平行レーザ光の振動と反射したレーザ光がカメラの撮像素子に入る状態を示す模式図である。

[図6]図5の状態ではカメラが撮像する画像を示す模式図である。

[図7]カメラの撮像素子の画素を示す模式図である。

[図8]ディスプレイに表示された可視化画像を示す模式図である。

[図9]図1に示す不良検出装置の動作を示すフローチャートである。

[図10]図1に示す不良検出装置の振動発生画素を特定する動作を示すフローチャートである。

[図11]他の実施形態の不良検出装置の構成を示す立面図である。

[図12]超音波振動子で半導体装置を超音波加振する他の実施形態の不良検出装置の構成を示す系統図である。

[図13]従来技術における超音波振動子に供給する高周波電力の電圧を一定とした場合の高周波電力の周波数に対する超音波振動子のインピーダンスの変化と高周波電力の電流の変化を示す図である。

[図14]図12に示す実施形態の不良検出装置において、電流センサで検出した電流が一定となるように超音波振動子に供給される高周波電力の電圧を変化させた場合の高周波電力の電圧の変化と電流の変化を示す図である。

[図15]図12に示す不良検出装置の動作を示すフローチャートである。

[図16]図12に示す実施形態の不良検出装置において、超音波振動子に供給される高周波電力の電流が一定となるように、高周波電力の周波数に対する高周波電力の電圧の変化を予め規定したマップを示す図である。

[図17]図12に示す実施形態の不良検出装置において、超音波振動子に供給される高周波電力の電流が所定の範囲内となるように、高周波電力の周波数に対する高周波電力の電圧の変化を予め規定した他のマップを示す図である。

[図18]他の実施形態の不良検出装置の構成を示す図である。

発明を実施するための形態

[0048] <不良検出装置の構成>

以下、図面を参照しながら実施形態の不良検出装置100について説明する。図1に示す様に、不良検出装置100は、ステージ10と、音響ヘッド20と、レーザ光源30と、カメラ40と、制御部50と、検出部55とを備えている。図1の紙面に対して垂直方向をX方向、水平面でX方向と直交する方向をY方向、上下方向をZ方向として説明する。尚、図1には、音響ヘッド20のケーシング22に取付けられている5つの超音波スピーカー21を図示しているが、各超音波スピーカー21を区別しない場合は、超音波スピーカー21といい、各超音波スピーカー21を区別する場合には、超音波スピーカー211～215という。

[0049] ステージ10は、図示しないベースに取付けられている。ステージ10は、上側の保持面10aに検査対象物である半導体装置13を吸着保持する。半導体装置13は、例えば、基板11と基板11の上に接着剤で取付けられた半導体ダイ12とで構成されてもよいし、基板11の上に半導体ダイ12をフリップチップ実装したものでもよいし、基板11の上に複数の半導体ダイ12を直接接合で積層したものでもよい。

[0050] 図1に示す例では、半導体装置13は、基板11の上に接着剤で半導体ダイ12を接合したもので、基板11の上面とも半導体ダイ12の下面との間に接合不良による隙間90が介在している（図4参照）。尚、以下の説明では、半導体ダイ12の隙間90の上の部分を不良部14という。

[0051] ステージ10の保持面10aの側の上方には、ステージ10と離間して音響ヘッド20が配置されている。音響ヘッド20は、ケーシング22と、ケ

ーシング 22 に取付けられた複数の超音波スピーカ 21 とで構成されている。音響ヘッド 20 のケーシング 22 は、ステージ 10 の上に設けられたガイドレール 28 に Y 方向に移動自在に取付けられたスライダ 29 からロッド 29a で吊り下げられている。

[0052] 音響ヘッド 20 のケーシング 22 は、球形のドーム状で下方のステージ側が開放されている。ケーシング 22 を構成する球面の球中心 26 は、ステージ 10 の保持面 10a の上に保持される半導体装置 13 の表面 15 の上に位置している。超音波スピーカ 21 は、指向性を有する超音波発生器であり、軸 21a の方向で軸 21a を中心とした指向角度 θ の範囲に超音波 24 が伝播するように超音波 24 を発生させる。超音波 24 の周波数 f は、数十 kHz から数百 kHz 程度である。複数の超音波スピーカ 21 は、各軸 21a がケーシング 22 の球面の球中心 26 で交差するようにケーシング 22 に取付けられている。このため、複数の超音波スピーカ 21 から発生された各超音波 24 は、球中心 26 の位置する保持面 10a の上に保持された半導体装置 13 の表面 15 に集中する。超音波 24 が集中する領域が不良の検出を行う検出領域 27 である。図 1 に示すように、検出領域 27 の大きさは、半導体ダイ 12 の大きさよりも大きく、半導体ダイ 12 と基板 11 とを超音波振動させる。超音波スピーカ 21 は、超音波加振器を構成する。

[0053] 各超音波スピーカ 21 には、それぞれ超音波スピーカ 21 を駆動する駆動ユニット 23 が接続されている。各駆動ユニット 23 は、各超音波スピーカ 211 ~ 215 にそれぞれ高周波電力を供給して各超音波スピーカ 211 ~ 215 を駆動する。また、各駆動ユニット 23 は、それぞれ接続されている各超音波スピーカ 211 ~ 215 が発生する各超音波 24 の各位相をそれぞれ調整可能となっている。

[0054] 各超音波スピーカ 21 を駆動する駆動ユニット 23 は、制御部 50 に接続されて制御部 50 の指令によって駆動する。制御部 50 は、内部に情報処理を行うプロセッサである CPU 51 と制御プログラムや制御用データを格納する記憶部 52 とを備えるコンピュータである。

- [0055] レーザ光源 30 は、ビームエキスパンダによってレーザ発振器から出力された単一波長のレーザ光を平行レーザ光 32 に変換し、単一波長の平行レーザ光 32 を半導体装置 13 に照射するものである。図 1 に示す例では、レーザ光源 30 は、光軸 31 がステージ 10 に対して傾斜して球中心 26 を通るように音響ヘッド 20 のケーシング 22 に取付けられている。つまり、レーザ光源 30 は、半導体装置 13 の表面 15 の検出領域 27 に斜め上から平行レーザ光 32 を照射するようにケーシング 22 に取付けられている。平行レーザ光 32 は干渉性の高いコヒーレント光であり、レーザ光源 30 はコヒーレント光を照射するコヒーレント光源である。尚、レーザ光源 30 は、ビームエキスパンダを含まないものでもよい。
- [0056] カメラ 40 は、複数の画素 46（図 7 参照）で構成される撮像素子 42 を含み、平行レーザ光 32 が照射された半導体装置 13 の二次元画像を撮像する。図 1 に示す実施形態では、カメラ 40 は、光軸 41 がステージ 10 に対して垂直で球中心 26 を通るようにケーシング 22 に取付けられている。このように、図 1 に示す実施形態では、カメラ 40 は、半導体装置 13 の表面 15 の検出領域 27 を真上から撮像するようにケーシング 22 に取付けられている。
- [0057] 尚、カメラ 40 はレーザ光源 30 から平行レーザ光 32 が照射された半導体装置 13 の画像を撮像できる位置であれば、検出領域 27 の真上ではなくケーシング 22 に対して斜めに傾斜して取付けられてもよい。また、カメラ 40 は、動画を撮像するものでも良いし静止画を撮像するものでもよい。
- [0058] レーザ光源 30 とカメラ 40 とは検出部 55 に接続されている。検出部 55 は、カメラ 40 が撮像した二次元の画像を処理して不良領域 91（図 8 参照）の検出を行う。検出部 55 は、内部に情報処理を行うプロセッサである CPU 56 と制御プログラムや制御用データを格納する記憶部 57 と、可視化画像 12e（図 10 参照）を表示するディスプレイ 58 とを備えるコンピュータである。また、検出部 55 は、制御部 50 と接続されてデータの授受を行う。

[0059] <不良検出装置による不良検出動作の原理>

以下、図2～図8を参照しながら不良検出装置100の不良検出動作の原理について説明する。

[0060] 図2に示すように、基板11の上に接合されている半導体ダイ12の表面15には微細な凹凸がある。このため、半導体装置13を超音波加振しない静止状態で平行レーザ光32を半導体ダイ12の表面15に照射すると、平行レーザ光32は半導体ダイ12の表面15でランダムな方向に反射する。ランダムな方向に反射する反射レーザ光33は、互いに干渉し、カメラ40の撮像素子42の表面に反射レーザ光33の干渉パターンが出現する。

[0061] 干渉パターンは、光が強めあう明るい部分と光を弱めあう暗い部分とを有するため、カメラ40の撮像素子42は、図3に示すように、干渉パターンを、半導体ダイ12の画像の表面に出現した多数の明部16と暗部17とで構成された斑点模様の画像12aとして取得する。

[0062] 従って、カメラ40により半導体ダイ12を撮像すると、カメラ40は、図3の視野43の中に示すように、斑点模様のある半導体ダイ12の画像12aを取得する。画像12aは半導体ダイ12の静止時の干渉パターンを含む画像である。また、静止時においては、不良部14は超音波振動していないので、カメラ40は、他の部分と同様の干渉パターンの画像を不良部14の干渉パターンの画像14aとして取得する。

[0063] 次に、図4に示すように各駆動ユニット23によって各超音波スピーカー21を駆動して各超音波スピーカー21から所定の周波数 f の超音波24を発生させる。各超音波スピーカー21から発生した超音波24は、ケーシング22の球中心26の近傍の検出領域27で交差、集中して重ね合わされ、基板11と半導体ダイ12とで構成される半導体装置13を超音波加振する。

[0064] 基板11と半導体ダイ12との間に不良である隙間90が存在する不良部14は、図4中の矢印95に示すように、基板11に対して大きく振動する。一方、半導体ダイ12の基板11に良好に接合されている不良部14以外

の部分は、基板 1 1 に対してほとんど振動しない。

- [0065] 半導体ダイ 1 2 の不良部 1 4 が超音波加振によって振動すると、半導体ダイ 1 2 の表面 1 5 が図 5 に示す矢印 9 6 の様に振動し、これによって、半導体ダイ 1 2 の不良部 1 4 の表面 1 5 で反射する反射レーザ光 3 3 の光路が図 5 に示す光路 3 4 a と光路 3 4 b との間で矢印 9 7 に示すようにぶれる。この光路のぶれは、半導体ダイ 1 2 の超音波振動と同様の振動周期で発生する。
- [0066] この光路 3 4 a, 3 4 b のぶれにより、図 3 を参照して説明した撮像素子 4 2 の上の斑点模様のある半導体ダイ 1 2 の不良部 1 4 の画像 1 4 a は図 6 に示す矢印 9 8 のようにぶれた画像 1 4 b となる。ここで、カメラ 4 0 の露光時間を半導体ダイ 1 2 の超音波振動の振動周期よりも長くして半導体ダイ 1 2 の画像を撮像すると、カメラ 4 0 は、不良部 1 4 の干渉パターンの画像として図 6 に示すようなぶれた斑点模様の画像 1 4 b を取得する。
- [0067] 一方、半導体ダイ 1 2 の不良部 1 4 以外の基板 1 1 に良好に接合されている部分は、基板 1 1 に対してほとんど振動しない。このため、撮像素子 4 2 の上の斑点模様のある半導体ダイ 1 2 の不良部 1 4 以外の画像 1 2 a はぶれない。このため、カメラ 4 0 は、不良部 1 4 以外の部分の干渉パターンの画像として図 3 を参照して説明したようなぶれない斑点模様の画像 1 2 a を取得する。
- [0068] 露光中に干渉パターンの画像 1 4 b がぶれる不良部 1 4 では、撮像素子 4 2 の画素 4 6 の明るさの強度が超音波振動していない静止状態、或いは非振動状態における干渉パターンの画像 1 4 a の明るさの強度に比べて変化する。一例を示すと、干渉パターンの画像 1 4 b がぶれる不良部 1 4 では画素 4 6 の明るさの強さが非振動時の干渉パターンの画像 1 4 a に比べて大きくなる。
- [0069] 一方、超音波加振しても露光中に干渉パターンの画像 1 2 a がぶれない不良部 1 4 以外の部分では、干渉パターンの画像 1 2 a は半導体ダイ 1 2 が静止状態、或いは、非振動状態の干渉パターンの画像 1 2 a と同様ぶれない。

このため、不良部 1 4 以外の部分では、撮像素子 4 2 の画素 4 6 の明るさの強度は半導体ダイ 1 2 が超音波振動していない静止状態、或いは非振動状態の明るさの強度と略同様となる。

[0070] 検出部 5 5 は、図 7 に示すように、超音波振動している際の明るさの強度が超音波振動していない静止時或いは非振動時の明るさの強度から変化している画素 4 6 を振動発生画素 4 7 と特定し、特定した振動発生画素 4 7 を含む領域を図 8 に示すように不良領域 9 1 として検出する。

[0071] また、検出部 5 5 は、図 8 に示すように、半導体ダイ 1 2 の画像に、特定した振動発生画素 4 7 に対応する表示 1 8 を含ませた可視化画像 1 2 e をディスプレイ 5 8 に表示する。これにより、ディスプレイ 5 8 の表示から不良部 1 4 の有無を判断することができる。

[0072] <不良検出装置による不良検出動作の詳細>

<1. 静止時画像取得ステップと超音波振動時画像取得ステップ>

次に、図 9、図 1 0 を参照しながら、実施形態の不良検出装置 1 0 0 の動作の詳細について説明する。

[0073] 図 9 のステップ S 1 0 1 に示すように、検出部 5 5 の CPU 5 6 は、レーザ光源 3 0 に平行レーザ光 3 2 の照射指令を出力する。この指令により、レーザ光源 3 0 は、平行レーザ光 3 2 を半導体装置 1 3 の半導体ダイ 1 2 に向けて照射する。

[0074] 検出部 5 5 の CPU 5 6 は、平行レーザ光 3 2 の照射を開始したら、図 9 のステップ S 1 0 2 に進んで、図 2、図 3 に示すように、カメラ 4 0 で半導体ダイ 1 2 の表面 1 5 で反射した反射レーザ光 3 3 の干渉により発生する干渉パターンを含む画像 1 2 a, 1 4 a を取得する（静止時画像取得ステップ）。

[0075] CPU 5 6 は、図 9 のステップ S 1 0 3 に進んで、取得した干渉パターンを含む画像 1 2 a, 1 4 a を記憶部 5 7 に格納する。

[0076] 検出部 5 5 の CPU 5 6 は、図 9 のステップ S 1 0 4 に進み、制御部 5 0 に超音波スピーカー 2 1 の駆動を開始する信号を出力する。制御部 5 0 の C

P U 5 1 は、この信号が入力されたら、各駆動ユニット 2 3 に超音波スピーカー 2 1 の駆動を開始する指令を出力する。各駆動ユニット 2 3 はこの指令によって超音波スピーカー 2 1 を駆動して各超音波スピーカー 2 1 から所定の周波数 f の超音波 2 4 を発生させる。各超音波スピーカー 2 1 は、指向性があり、各軸 2 1 a の方向で軸 2 1 a を中心とした指向角度 θ の範囲に伝播していく。各超音波スピーカー 2 1 は、各軸 2 1 a がケーシング 2 2 の球中心 2 6 で交差するようにケーシング 2 2 に取付けられているので、各超音波スピーカー 2 1 から発生した超音波 2 4 は、ケーシング 2 2 の球中心 2 6 の近傍で交差、集中して重ね合わされる。

[0077] 制御部 5 0 の C P U 5 1 は、この超音波 2 4 の重ね合わせにより、球中心 2 6 の近傍に超音波振動の振幅が大きくなるように、各駆動ユニット 2 3 によって各超音波スピーカー 2 1 の各位相を調整する。一例を示すと、球中心 2 6 に対して対称の位置にある超音波スピーカー 2 1 1, 2 1 5 の発生する超音波 2 4 の位相を 1 8 0 度ずらす様にする。また、他の例としては、C P U 5 1 は、駆動ユニット 2 3 によって各超音波スピーカー 2 1 1 ~ 2 1 5 が発生する各超音波 2 4 の位相を分散するように調整してもよい。これにより、球中心 2 6 の近傍の超音波 2 4 が集中する範囲である検出領域 2 7 の超音波振動の振幅を大きくすることができる。

[0078] ここのように、制御部 5 0 の C P U 5 1 は、駆動ユニット 2 3 によって超音波スピーカー 2 1 から超音波 2 4 を発生させて基板 1 1 と半導体ダイ 1 2 とで構成される半導体装置 1 3 を超音波加振する。

[0079] 半導体装置 1 3 が超音波加振されると、基板 1 1 と半導体ダイ 1 2 との間に不良である隙間 9 0 が存在する不良部 1 4 は、図 4 中の矢印 9 5 に示すように、半導体ダイ 1 2 が基板 1 1 に対して大きく振動する。

[0080] 制御部 5 0 の C P U 5 1 は、超音波スピーカー 2 1 による超音波加振を開始したら超音波加振中の信号と超音波加振の周波数 f とを検出部 5 5 に出力する。検出部 5 5 の C P U 5 6 はこの信号が入力されたら図 9 のステップ S 1 0 5 で、カメラ 4 0 の露光時間を超音波振動の周期よりも長く設定し、カ

メラ40で図6を参照して説明した超音波振動時の干渉パターンを含む画像12a, 14bを取得する。

[0081] カメラ40の露光時間を半導体ダイ12の超音波振動の振動周期よりも長くして半導体ダイ12の画像を撮像すると、カメラ40は、不良部14の干渉パターンの画像として図6に示すようなぶれた斑点模様の画像14bを取得する。また、不良部14以外の部分の干渉パターンの画像として図3を参照して説明したようなぶれない斑点模様の画像12aを取得する（超音波振動時画像取得ステップ）。

[0082] 検出部55のCPU56は、カメラ40で干渉パターンを含む画像12a, 14bを取得したら図9のステップS106に進んで干渉パターンを含む画像12a, 14bを記憶部57に格納する。

[0083] <2. 不良検出ステップ>

<a. 振動発生画素の特定>

検出部55のCPU56は、図9のステップS107において、記憶部57から半導体ダイ12の静止時の干渉パターンを含む画像12a, 14aと超音波振動時の干渉パターンを含む画像12a, 14bとを読み出し、図10のステップS201～ステップS201を実行して、静止時の干渉パターンを含む画像12a, 14aと超音波振動時の干渉パターンを含む画像12a, 14bとの偏差に基づいて振動発生画素47を特定する。

[0084] 以下、図7、図10を参照しながら振動発生画素47の特定動作の詳細について説明する。検出部55のCPU56は、超音波振動している際の明るさの強度が超音波振動していない静止時或いは非振動時の明るさの強度から変化している画素46を振動発生画素47として特定する。

[0085] 検出部55のCPU56は、図7に示す様に、一度に画像処理を行う視野43の二次元画像の一領域である画像フレーム45の各画素46について以下に説明するような処理を行って振動発生画素47を特定する。以下の説明では、符号に後に記載する座標(x, y)は、二次元の画像フレーム45の座標(x, y)を示し、例えば、画素46(x, y)は座標(x, y)の画

素46を示す。

[0086] 図10のステップS201に示すように、検出部55のCPU56は、記憶部57に格納したカメラ40から取得した超音波振動時の二次元画像と静止時或いは非振動時の二次元画像から、超音波振動時の画像フレーム45vと静止時の画像フレーム45sとを読み出す。

[0087] 図10のステップS202に示すように、CPU56は、各画素46(x, y)における超音波振動時の明るさの強度Iv(x, y)と静止時の明るさの強度Is(x, y)との平均値Ia(x, y)を計算する。

$$\text{平均値 } I_a(x, y) = [I_v(x, y) + I_s(x, y)] / 2$$

[0088] 図10のステップS203に示すように、CPU56は、各画素46(x, y)における超音波振動時の明るさの強度Iv(x, y)と平均値Ia(x, y)との偏差の絶対値の画像フレーム45における平均値を絶対偏差平均値として算出する。

絶対偏差平均値＝

|Iv(x, y) - Ia(x, y)|の画像フレーム45での平均値

[0089] 図10のステップS204に示すように、CPU56は、下記の(式1)により、正規化したピクセル強度の4乗値NIave(x, y)を算出する。

$$NIave(x, y) =$$

$$[|Iv(x, y) - Ia(x, y)| / \text{絶対偏差平均値}]^4 \quad \text{--- (式1)}$$

[0090] 図10のステップS205に示すように、CPU56は、NIave(x, y)が1以上となる場合には、その画素46(x, y)の明るさの強さの変化は有意であると判断し、図10のステップS206に進んでその画素46(x, y)を振動発生画素47(x, y)として特定してステップS207に進む。CPU56は、ステップS207で画像フレーム45の全ての画素46(x, y)を処理していないと判断した場合には、ステップS204に戻って次の画素46(x, y)の処理を行う。一方、CPU56は、図1

0のステップS205でNOと判断した場合には、ステップS204に戻って次の画素46(x, y)の処理を行う。CPU56は、画像フレーム45の全ての画素46(x, y)においてNlave(x, y)を算出し、画像フレーム45の中の振動発生画素47(x, y)を特定したら、図10のステップS207でYESと判断して図10のステップS208に進む。

[0091] 図10のステップS208において、CPU56は、一つの振動発生画素47(x, y)の周囲の所定範囲に他の振動発生画素47(x1, y1)が所定個数だけ存在するか確認する。例えば、所定範囲として振動発生画素47(x, y)を中心とした5×5の画素46の正方形のアレイ48を設定し、この中に、7～8個の他の振動発生画素47(x1, y1)が存在するかどうかを確認してもよい。そして、図10のステップS208でYESと判断した場合には、画素46(x, y)の明るさの強度の変化は、超音波振動に起因するものと判断して図10のステップS209に進んで画素46(x, y)の振動発生画素47(x, y)としての特定を維持する。

[0092] 一方、アレイ48の中に、7～8個の他の振動発生画素47(x1, y1)が存在しない場合には、画素46(x, y)の明るさの強度の変化は、超音波振動に起因するものではないと判断して図10のステップS210に進んで画素46(x, y)の振動発生画素47(x, y)の特定を取り消す。

[0093] そして、CPU56は、振動発生画素47(x, y)の特定を確定させる。CPU56は、各画像フレーム45において上記の処理を行い、撮像素子42の全ての画素46(x, y)について振動発生画素47(x, y)の特定を確定させる。

[0094] <b. 不良検出>

検出部55のCPU56は、図9のステップS107、図10のステップS201～S210を実行して振動発生画素47を特定したら、図9のステップS108に進んで、撮像素子42の中の図9のステップS107で特定した振動発生画素47が所定値以上に密集している領域を不良領域91に設定する。

- [0095] 不良領域 91 の設定の方法は、いろいろな方法があるが、例えば、図 7 を参照して説明した 5×5 の画素 46 の正方形のアレイ 48 中の振動発生画素 47 の数が所定値以上の場合にそのアレイ 48 を振動発生アレイに設定し、振動発生アレイが連続する領域を不良領域 91 として設定してもよい。この際、所定値は試験等によって決定してもよく、例えば、アレイ 48 に含まれる画素 46 の数の半数を所定値に設定してもよいし、 $30\% \sim 70\%$ の間で所定値を設定してもよい。また、アレイ 48 に含まれる画素 46 の数は上記の様に $5 \times 5 = 25$ 個でもよいし、 $100 \times 100 = 10000$ 個としてもよい。
- [0096] また、振動発生アレイが連続する長さ或いは面積が、所定の閾値以上となった領域を不良領域 91 に設定し、振動発生アレイが連続する長さ或いは面積が所定の閾値未満の場合には、不良領域 91 に設定しないようにしてもよい。所定の閾値は、良品と不良品との比較試験等によって設定してもよく、例えば、良品において出現する振動発生アレイが連続する長さを割り増しした長さに設定してもよい。例えば、良品で 0.05 mm 程度の振動発生アレイが連続する半導体ダイ 12 の場合には、所定の閾値を、例えば、 $0.08\text{ mm} \sim 0.1\text{ mm}$ に設定してもよい。
- [0097] また、所定の閾値は、振動発生アレイが連続する領域によって変化させてもよく、例えば、複数の半導体ダイ 12 をダイレクトボンディングした半導体装置 13 では、上下の半導体ダイ 12 の電極の周辺では所定の閾値をそのほかの部分よりも小さく設定し、電極間の接合を厳しくチェックするようにしてもよい。また、半導体ダイ 12 の周辺では所定の閾値を小さくし、中央では所定の閾値を大きくしても良いし、逆に、半導体ダイ 12 の周辺では所定の閾値を大きくし、中央では所定の閾値を小さく設定してもよい。
- [0098] 以上、不良領域 91 の設定の例について説明したが、撮像素子 42 の中で振動発生画素 47 が所定値以上に密集している領域を設定できれば、上記のような方法によらず、例えば、良品の半導体装置 13 おける振動発生画素 47 の分布画像と検査対象の半導体装置 13 の振動発生画素 47 の分布画像と

の画像分析により不良領域 9 1 を設定してもよい。

[0099] 不良領域 9 1 の設定が終了したら、検出部 5 5 の CPU 5 6 は、図 9 のステップ S 1 0 9 に進み、不良領域 9 1 の設定ができたかどうか判断する。検出部 5 5 の CPU 5 6 は、図 9 のステップ S 1 0 9 で YES と判断した場合には図 9 のステップ S 1 1 0 で不良検出信号を外部に出力する。この際、不良領域 9 1 の位置、形状の情報を一緒に外部に出力するようにしてもよい。

[0100] また、検出部 5 5 の CPU 5 6 は、図 9 のステップ S 1 0 9 で NO と判断した場合には、不良を検出しなかった判断して図 9 のステップ S 1 1 1 で検査対象の半導体装置 1 3 は良品であるとの良品検出信号を出力する。

[0101] <3. 表示ステップ>

検出部 5 5 の CPU 5 6 は、図 8 に示す様に、図 9 のステップ S 1 1 2 で半導体ダイ 1 2 の画像に、特定した振動発生画素 4 7 に対応する表示 1 8 を含ませた可視化画像 1 2 e をディスプレイ 5 8 に表示する（表示ステップ）。

[0102] 可視化画像 1 2 e は様々な形式とすることができるが、図 8 では、一例として、電灯等の非干渉光線を半導体ダイ 1 2 に照射して取得した一般的な半導体ダイ 1 2 の画像の振動発生画素 4 7 に対応する部分に表示 1 8 として赤い点を重ねた画像としている。この画像によれば、超音波振動によって振動している不良部 1 4 の近傍の領域には、多くの表示 1 8 である赤い点が表示され、振動していない不良部 1 4 以外の部分には表示 1 8 である赤い点はほとんど表示されない。図 8 に示す例では、表示 1 8 である赤いが多く表示されている半導体ダイ 1 2 の中央部分には超音波加振によって超音波振動する不良部 1 4 を構成する隙間 9 0 が存在し、そのほかの部分には隙間 9 0 が存在していないことがわかる。従って、ディスプレイ 5 8 に表示された可視化画像 1 2 e を視認することによって半導体装置 1 3 に不良である隙間 9 0 が存在するかどうかを検出することができる。

[0103] また、検出部 5 5 の CPU 5 6 は、図 9 のステップ S 1 0 8 で設定した不良領域 9 1 を可視化画像 1 2 e の上に重ねて表示してもよい。これにより、

不良領域 9 1 と表示 1 8 とが一般的な半導体ダイ 1 2 の画像の上に重ね合わせて表示さ、不良の検出が行われたかどうかを視認することができる。

[0104] <不良検出装置 1 0 0 の作用／効果>

以上説明したように、実施形態の不良検出装置 1 0 0 は、半導体装置 1 3 に平行レーザ光 3 2 を照射して超音波加振し、静止時の干渉パターンを含む画像 1 2 a, 1 4 a と超音波加振時の干渉パターンを含む画像 1 2 a, 1 4 b との偏差に基づいて不良の検出を行うので、簡便な構成で短時間に半導体装置 1 3 の不良の検出を行うことができる。

[0105] また、不良検出装置 1 0 0 は、一つの振動発生画素 4 7 (x, y) の周囲の所定範囲に他の振動発生画素 4 7 (x 1, y 1) が所定個数だけ存在する場合には、画素 4 6 (x, y) の明るさの強度の変化は、超音波振動に起因するものと判断して画素 4 6 (x, y) の振動発生画素 4 7 (x, y) としての特定を維持し、そうでない場合には、振動発生画素 4 7 (x, y) としての特定を取り消す。これにより、ノイズによって実際に振動していない画素 4 6 を振動発生画素 4 7 と特定することを抑制して精度よく振動の検出、不良の検出を行うことができる。

[0106] また、不良検出装置 1 0 0 は、特定した振動発生画素 4 7 が所定値以上に密集している領域を不良領域 9 1 に設定して不良を検出するので、静止時の干渉パターンを含む画像 1 2 a, 1 4 a と超音波加振時の干渉パターンを含む画像 1 2 a, 1 4 b との偏差に基づいて不良の検出を行うことができる。

[0107] また、不良検出装置 1 0 0 は、ディスプレイ 5 8 に不良部 1 4 を可視化した可視化画像 1 2 e を表示するので、ディスプレイ 5 8 を視認するだけで簡単に不良の有無を判断することができる。

[0108] また、実施形態の不良検出装置 1 0 0 は、複数の超音波スピーカ 2 1 を取付けた音響ヘッド 2 0 を用いて半導体装置 1 3 に超音波 2 4 を集中させて半導体装置 1 3 を間接的に超音波加振して不良の検出を行うので、簡便な構造で不良の検出を行うことができる。また、半導体装置 1 3 を間接的に超音波加振するので、非接触で半導体装置 1 3 の不良の検出を行うことができる。

。

[0109] <不良検出装置 100 の変形例>

以上の説明では、レーザ光源 30 は、単一波長の平行レーザ光 32 を半導体装置 13 に照射することとして説明したが、これに限らず、波長に少し幅があってもよいし、平行光ではないレーザ光を照射するようにしてもよい。また、レーザ光は、強度に多少のむらがあってもよい。また、以上の説明では、干渉パターンの画像 12 a, 14 a, 14 b は、多数の明部 16 と暗部 17 とを含む斑点模様として説明したが、これに限らず、縞模様等他の模様であってもよい。

[0110] また、半導体装置 13 の振動方向が一方向ではない場合には、レーザ光源 30 とカメラ 40 とを複数個用意し、多方向から半導体装置 13 にレーザ光を照射すると共に複数のカメラ 40 で多方向から画像を撮像することにより、多方向の振動を検出して不良の検出を行うようにしてもよい。

[0111] また、以上の説明では、半導体装置 13 を検査対象物として説明したが、板状部材を積層接合した他の製品の層間の接合不良の検出に適用してもよい。板状部材を積層接合した他の製品の例としては、積層板、ラミネート素材等がある。

[0112] <他の実施形態 1>

次に図 11 を参照しながら他の実施形態の不良検出装置 200 について説明する。先に図 1 から図 10 を参照して説明した部位と同様の部位には同様の符号を付して説明は省略する。

[0113] 図 11 に示すように、実施形態の不良検出装置 200 は、図 1 を参照して説明した不良検出装置 100 の音響ヘッド 20 を円環状のケーシング 62 に複数の超音波スピーカー 21 を取付けた音響ヘッド 60 で構成したものである。

[0114] 図 11 に示すように、ケーシング 62 は、上側が小径の開放面 64 で下側が大径の開放面 65 の球台型の環状部材であり、球帯面 63 に複数の超音波スピーカー 21 が取付けられている。球帯面 63 の球中心 66 は、ステージ

10の保持面10aの上に保持される半導体装置13の表面15の上に位置している。複数の超音波スピーカ21は、各軸21aがケーシング62の球面の球中心66で交差するようにケーシング62に取付けられている。先に図1を参照して説明した不良検出装置100と同様、各超音波スピーカ21から発生した超音波24は、球中心66で交差し、集中して重ね合わされる。この超音波24の重ね合わせにより、球中心66の近傍には超音波振動の振幅が大きい検出領域27が形成される。

[0115] 不良検出装置200の動作は、先に図1を参照して説明した不良検出装置100の動作と同様である。

[0116] 不良検出装置200は、ケーシング62が球台型の環状部材で構成されているので、Z方向の厚さを薄くすることができ、小型のボンディング装置等に組み込むことが可能となる。

[0117] <他の実施形態2>

次に、図12から図17を参照しながら他の実施形態である不良検出装置300について説明する。不良検出装置300は、図1を参照して説明した不良検出装置100の音響ヘッド20に代えて、半導体装置13に接続した超音波振動子70によって半導体装置13を超音波加振するものである。超音波振動子70は、超音波加振器を構成する。レーザ光源30、カメラ40、検出部55の構成は、先に説明した不良検出装置100の構成と同一である。

[0118] 超音波振動子70は、超音波振動子70に高周波電力を供給する駆動ユニット23によって駆動される。超音波振動子70は、例えば、 piezo素子等で構成されていてもよい。駆動ユニット23と超音波振動子70の間には、駆動ユニット23から超音波振動子70に供給される高周波電力の電圧を検出する電圧センサ53と、高周波電力の電流を検出する電流センサ54とが取付けられている。電圧センサ53と電流センサ54とは制御部50に接続されており、電圧センサ53、電流センサ54で検出された高周波電力の電圧と電流のデータは、制御部50に入力される。制御部50は、駆動ユニ

ット23から超音波振動子70に供給される高周波電力の周波数を変化させながらカメラ40で半導体装置13の画像を撮像し、撮像した画像に基づいて半導体装置13の不良の検出を行う。

[0119] 実施形態の不良検出装置300の動作について説明する前に、図13を参照しながら従来技術の様に、駆動ユニット23から超音波振動子70に供給される高周波電力の電圧 V_0 を一定とした場合の周波数 f に対するインピーダンスと電流 A_0 の変化について説明する。

[0120] 図13に示す一点鎖線 c_0 の様に、駆動ユニット23から超音波振動子70に供給される高周波電力の電圧 V_0 を一定にして、高周波電力の周波数 f を変化させると、超音波振動子70自体が周波数 f_1 で共振する。これにより、超音波振動子70のインピーダンスは、図13中の破線 a に示す様に周波数 f_1 では大きく低下する。一方、共振周波数 f_1 と最大周波数 f_3 の間の周波数 f_2 では、超音波振動子70のインピーダンスが大きく上昇する。

[0121] 図13中の破線 a に示す様に周波数 f_1 の近傍で超音波振動子70のインピーダンスが大きく低下すると、図13中の実線 b_0 に示す様に、超音波振動子70に供給される高周波電力の電流 A_0 は大きく上昇する。逆に周波数 f_2 の近傍で超音波振動子70のインピーダンスが大きく上昇すると、超音波振動子70に供給される高周波電力の電流 A_0 は大きく低下する。超音波振動子70に供給される電流 A_0 の大きさは、超音波振動子70の振幅に比例する。従って、超音波振動子70が共振する周波数 f_1 の近傍では、超音波振動子70の振幅が大きく上昇して基板11の振幅が大きく増加し、周波数 f_2 の近傍では、超音波振動子70の振幅が大きく低下して基板11の振幅が大きく減少する。

[0122] このため、超音波振動子70が共振する周波数 f_1 では、基板11と半導体ダイ12とがいずれも大きく振動してしまうため、半導体ダイ12の不良部14の振動が基板11と半導体ダイの振動に隠れて検出することが困難になる場合がある。

[0123] 逆に、周波数 f_2 では、基板11と半導体ダイ12の振動が非常に小さく

なってしまう半導体ダイ 12 の不良部 14 の振動を検出することができない場合がある。

[0124] 以上、説明したように、従来技術の様に駆動ユニット 23 から超音波振動子 70 に供給される電圧 V_0 を一定として周波数を変化させた場合には、超音波振動子 70 の共振する周波数 f_1 近傍で半導体ダイ 12 の不良部 14 の検出が困難になる場合があった。

[0125] そこで、実施形態の不良検出装置 300 では、超音波振動子 70 の振幅が超音波振動子 70 に入力される高周波電力の電流に比例することに着目し、超音波振動子 70 に入力される高周波電力の電流 A_1 を電流センサ 54 で検出し、検出した電流 A_1 が所定の範囲内となるように高周波電力の電圧 V_1 を調整する。これにより、高周波電力の電流 A_1 を所定の範囲内として超音波振動子 70 の振幅を所定の範囲内とすることができる。そして、高周波電力の周波数を変化させて半導体装置 13 を超音波加振した際に、特定の周波数で基板 11 や半導体ダイ 12 が大きく振動し、基板 11 や半導体ダイ 12 の振動に隠れて不良部 14 の振動を検出できなくなることを抑制する。

[0126] 以下、図 14 を参照しながら実施形態の不良検出装置 300 において、電流センサ 54 で検出した電流 A_1 が一定となるように超音波振動子 70 に供給される高周波電力の電圧 V_1 を変化させた場合の高周波電力の電圧 V_1 の変化と電流 A_1 の変化動作について説明する。

[0127] 実施形態の不良検出装置 300 では、電流センサ 54 で検出した電流 A_1 を制御部 50 にフィードバックし、高周波電力の電流 A_1 が増加する周波数 f_1 の近傍では、図 14 の一点鎖線 c_1 で示す様に超音波振動子 70 に供給する高周波電力の電圧 V_1 を低下させる。一方、電流センサ 54 で検出した電流 A_1 が減少する周波数 f_2 の近傍では、図 14 の一点鎖線 c_1 で示す様に超音波振動子 70 に供給する高周波電力の電圧 V_1 を上昇させる。これによって、図 14 中の実線 d_1 に示す様に、電流センサ 54 で検出した電流 A_1 の大きさを周波数 f にかかわらず略一定とすることができる。

[0128] このように、駆動ユニット 23 から超音波振動子 70 に供給される高周波

電力の電流 A_1 が略一定になるようにフィードバック制御することにより、高周波電力の周波数 f を変化させた場合でも、超音波振動子 70 の振幅を略一定とし、基板 11 と半導体ダイ 12 の振動を略一定とすることができる。これにより、高周波電力の周波数を変化させて半導体装置 13 を超音波加振した際に、特定の周波数で基板 11 や半導体ダイ 12 が大きく振動し、基板 11 や半導体ダイ 12 の振動に隠れて不良部 14 の振動を検出できなくなることを抑制できる。

- [0129] 次に、図 15 を参照しながら実施形態の不良検出装置 300 による半導体装置 13 の不良の検出について説明する。先に図 9 参照して説明した不良検出装置 100 の動作と同様の動作のステップについては、同一のステップ符号を付して説明は省略する。
- [0130] 検出部 55 は、図 15 のステップ S101 から S103 に示すように、半導体装置 13 に平行レーザ光 32 を照射して静止時の干渉パターンの画像 12a, 14a を取得して記憶部 57 に格納する。
- [0131] 検出部 55 は、静止時の干渉パターンの画像 12a, 14a を記憶部 57 に格納したら、制御部 50 に超音波振動子 70 の駆動を開始する信号を出力する。制御部 50 の CPU 51 は、この信号が入力されたら、図 15 のステップ S304 のように、駆動ユニット 23 に超音波振動子 70 の駆動を開始する指令を出力する。駆動ユニット 23 はこの指令によって超音波振動子 70 を駆動して半導体装置 13 を超音波振動させる。
- [0132] 制御部 50 の CPU 51 は、図 15 のステップ S304 のように、電流センサ 54 で検出した電流 A_1 が略一定となるように高周波電力の電圧 V_1 を調整しつつ、高周波電力の開始周波数 f_0 から最大周波数 f_3 ($f_0 < f_3$) まで周波数 f を変化させながら超音波振動子 70 によって半導体装置 13 を超音波加振する。
- [0133] 制御部 50 の CPU 51 は、超音波振動子 70 によって半導体装置 13 の超音波加振を開始したら超音波加振中の信号と超音波加振の開始周波数 f_0 とを検出部 55 に出力する。検出部 55 の CPU 56 はこの信号が入力され

たら図15のステップS105で、カメラ40の露光時間を超音波振動の開始周波数 f_0 の際の周期よりも長く設定し、カメラ40で図6を参照して説明した超音波振動時の干渉パターンを含む画像12a, 14bを取得し、図15のステップS106で画像14a, 14bを記憶部57に格納する。カメラ40は、動画として画像12a, 14a, 14bを撮像して動画データを記憶部57に格納してもよいし、超音波加振の周波数 f が所定周波数 Δf だけ変化する毎に静止画として画像12a, 14a, 14bを撮像して複数の静止画のデータセットを記憶部57に格納するようにしてもよい。

[0134] 検出部55のCPU56は、先に説明した不良検出装置100と同様、図15のステップS107で振動発生画素47を特定し、図15のステップS108で振動発生画素47が所定値以上に密集している領域を不良領域91に設定する。そして、図15のステップS109でYESと判断した場合には図15のステップS110で不良検出信号を出力し、図15のステップS109でNOと判断した場合には、図15のステップ111で良品検出信号を出力する。そして、図15のステップS112で可視化画像12eをディスプレイ58に表示する。

[0135] 以上説明したように、実施形態の不良検出装置300は、高周波電力の周波数を変化させて半導体装置13を超音波加振した際に、超音波振動子70の振幅を所定の範囲内とし、特定の周波数で基板11や半導体ダイ12が大きく振動することを抑制できる。これにより、特定の周波数で基板11や半導体ダイ12の振動に隠れて不良部14の振動を検出できなくなることを抑制し、不良部14の検出精度を向上させることができる。

[0136] また、不良検出装置300は、不良検出装置100と同様、半導体装置13を超音波加振し、静止時の干渉パターンを含む画像12a, 14aと超音波加振時の干渉パターンを含む画像12a, 14bとの偏差に基づいて不良の検出を行うので、簡便な構成で短時間に半導体装置13の不良の検出を行うことができる。

[0137] 以上の説明では、駆動ユニット23から超音波振動子70に供給される高

周波電力の電流 A_1 が略一定になるようにフィードバック制御することにより、高周波電力の周波数 f を変化させた場合に、超音波振動子 70 の振幅を略一定とすることとして説明したがこれに限らない。

[0138] 例えば、図 13 を参照して説明したように、試験等により高周波電力の電圧 V_0 を一定として周波数を変化させた際の高周波電力の電流 A_0 の変化を取得しておき、図 16 に一点鎖線 c_2 で示すように電流 A_0 の増加と減少とを逆にした電圧波形を生成し、この電圧波形を周波数 f に対する電圧 V_2 の変化を示すマップ 59a として記憶部 52 に格納しておく。図 16 に一点鎖線 c_2 で示すように、マップ 59a は、周波数 f_1 近傍では電圧が低くなり、周波数 f_2 では電圧高くなる波形となる。そして、超音波加振を行う際には、記憶部 52 に格納したマップ 59a を参照して周波数 f に対する電圧を調整してもよい。この場合も、図 16 の実線 d_2 に示す様に、超音波振動子 70 に供給される電流 A_2 は周波数が変化しても略一定となる。

[0139] これにより、簡便な構成で半導体装置 13 を様々な周波数帯で超音波加振した際に半導体装置 13 の全体が大きく振動し、不良部 14 の振動が基板 11 や半導体ダイ 12 の振動に隠れて検出できなくなることを抑制でき、高精度に半導体装置 13 の不良を検出することができる。

[0140] また、試験を簡便にして、例えば、図 17 に一点鎖線 c_3 に示す様に、周波数 f に対して階段状に電圧 V_3 を変化させるような電圧波形をマップ 59b として記憶部 52 に格納するようにしてもよい。この場合には、図 17 の実線 d_3 に示すように、超音波振動子 70 に供給される電流 A_3 は略一定にはならないが、所定の範囲 ΔA の中に入る。これにより、更に簡便な方法で高精度で短時間に半導体装置 13 の不良検出を行うことができる。

[0141] <他の実施形態 3>

次に図 18 を参照しながら他の実施形態の不良検出装置 400 について説明する。不良検出装置 400 は、図 1 を参照して説明した不良検出装置 100 の各駆動ユニット 23 と各超音波スピーカー 21（超音波スピーカー 212～215）との間に図 12 から図 17 を参照して説明した不良検出装置 3

00と同様、電圧センサ53と電流センサ54をそれぞれ取付けたものである。尚、図18では、音響ヘッド20に取付けられた1つの超音波スピーカ—211のみを示し、他の超音波スピーカ—212～215の図示は省略する。また、ケーシング22は超音波スピーカ—211の近傍のみを示し、他の部分の図示は省略する。

[0142] 不良検出装置400の動作は、駆動ユニット23で超音波振動子70を駆動することに代えて複数の駆動ユニット23でそれぞれの超音波スピーカ—21を駆動するようにした点を除き、不良検出装置300の動作と同様である。

[0143] 不良検出装置400は、各駆動ユニット23から各超音波スピーカ—21に供給される高周波電力の電流A1が略一定になるようにフィードバック制御することにより、高周波電力の周波数fを変化させた場合でも、各超音波スピーカ—21による半導体装置13の超音波加振力を略一定とし、基板11と半導体ダイ12の振動を略一定とすることができる。これにより、不良検出装置300と同様、高周波電力の周波数を変化させて半導体装置13を超音波加振した際に、特定の周波数で基板11や半導体ダイ12が大きく振動し、基板11や半導体ダイ12の振動に隠れて不良部14の振動を検出できなくなることを抑制できる。

[0144] また、不良検出装置400は、不良検出装置100と同様、半導体装置13を超音波加振し、静止時の干渉パターンを含む画像12a, 14aと超音波加振時の干渉パターンを含む画像12b, 14bとの偏差に基づいて不良の検出を行うので、簡便な構成で短時間に半導体装置13の不良の検出を行うことができる。また、半導体装置13を間接的に超音波加振するので、非接触で半導体装置13の不良の検出を行うことができる。

[0145] <振動検出装置>

以上説明した不良検出装置100、200、300、400は、いずれも不良領域91を設定して検査対象物である半導体装置13の不良の検出を行うとして説明したが、図9のステップS108～S111、或いは図15の

ステップS 1 0 8～S 1 1 1 を実行せずに、振動発生箇所を示す振動発生画素をディスプレイ 5 8 に表示して検査対象物である半導体装置 1 3 の振動箇所の特定制を行う振動検出装置として機能させてもよい。

- [0146] 不良検出装置 1 0 0 が振動検出装置として機能する場合、検出部 5 5 は、カメラ 4 0 が撮像した画像を処理して振動発生箇所を示す振動発生画素 4 7 を特定し、半導体装置 1 3 の画像に、特定した振動発生画素 4 7 に対応する表示を含ませた可視化画像 1 2 e をディスプレイ 5 8 に表示する。
- [0147] 不良検出装置 1 0 0 を振動検出装置として機能させた場合には、不良の有無の判断は、検査員がディスプレイ 5 8 の画像を目視して判断する。
- [0148] このような動作は、例えば、新しい半導体装置 1 3 で、不良領域 9 1 を設定する閾値、所定値が無い場合等に有用である。

符号の説明

- [0149] 1 0 ステージ、1 0 a 保持面、1 1 基板、1 2 半導体ダイ、1 2 a, 1 4 a, 1 4 b 画像、1 2 e 可視化画像、1 3 半導体装置、1 4 不良部、1 5 表面、1 6 明部、1 7 暗部、1 8 表示、2 0、6 0 音響ヘッド、2 1、2 1 1～2 1 5 超音波スピーカー、2 1 a 軸、2 2、6 2 ケーシング、2 3 駆動ユニット、2 4 超音波、2 6、6 6 球中心、2 7 検出領域、2 8 ガイドレール、2 9 スライダ、2 9 a ロッド、3 0 レーザ光源、3 1 光軸、3 2 平行レーザ光、3 3 反射レーザ光、3 4 a, 3 4 b 光路、4 0 カメラ、4 1 光軸、4 2 撮像素子、4 3 視野、4 5、4 5 s、4 5 v 画像フレーム、4 6 画素、4 7 振動発生画素、4 8 アレイ、5 0 制御部、5 1、5 6 C P U、5 2、5 7 記憶部、5 3 電圧センサ、5 4 電流センサ、5 5 検出部、5 8 ディスプレイ、5 9 a, 5 9 b マップ、6 3 球帯面、6 4 開放面、6 5 開放面、7 0 超音波振動子、9 0 隙間、9 1 不良領域、1 0 0、2 0 0、3 0 0、4 0 0 不良検出装置。

請求の範囲

- [請求項1] 検査対象物の不良を検出する不良検出装置であって、
前記検査対象物を超音波加振する超音波加振器と、
前記検査対象物にコヒーレント光を照射するコヒーレント光源と、
前記コヒーレント光が照射された前記検査対象物を撮像して画像を取得する撮像素子を有するカメラと、
前記カメラが撮像した画像に基づいて前記検査対象物の不良の検出を行う検出部と、を備え、
前記検出部は、前記カメラが取得した前記検査対象物の静止時の画像と超音波振動時の画像との偏差に基づいて前記検査対象物の不良の検出を行うこと、
を特徴とする不良検出装置。
- [請求項2] 請求項1に記載の不良検出装置であって、
前記カメラは、撮像の際の露光時間が前記検査対象物の超音波振動の周期よりも長く、前記検査対象物の表面で反射した前記コヒーレント光の干渉により発生する干渉パターンを含む画像を取得し、
前記検出部は、前記カメラが取得した前記検査対象物の静止時の干渉パターンを含む画像と超音波振動時の干渉パターンを含む画像との偏差に基づいて前記検査対象物の不良の検出を行うこと、
を特徴とする不良検出装置。
- [請求項3] 請求項2に記載の不良検出装置であって、
前記検出部は、前記偏差に基づいて振動発生画素を特定し、特定した振動発生画素が所定値以上に密集している領域を不良領域に設定し、不良を検出すること、
を特徴とする不良検出装置。
- [請求項4] 請求項3に記載の不良検出装置であって、
前記検出部は、特定した振動発生画素の周囲の所定範囲に所定個数の他の振動発生画素が存在する場合には、その画素の振動発生画素の

特定を維持し、所定範囲に所定個数の振動発生画素が存在しない場合には、その画素の振動発生画素の特定を取り消すこと、
を特徴とする不良検出装置。

[請求項5] 請求項3又は4に記載の不良検出装置であって、
前記検査対象物の画像を表示するディスプレイを含み、
前記検出部は、前記検査対象物の画像に、特定した振動発生画素に対応する表示を含ませた可視化画像を前記ディスプレイに表示すること、
を特徴とする不良検出装置。

[請求項6] 請求項3から5のいずれか1項に記載の不良検出装置であって、
前記コヒーレント光は、レーザ光であり、
前記コヒーレント光源は、前記検査対象物に単一波長の平行レーザ光を照射すること、
を特徴とする不良検出装置。

[請求項7] 請求項1から6のいずれか1項に記載の不良検出装置であって、
前記超音波加振器に高周波電力を供給する駆動ユニットと、
前記駆動ユニットから前記超音波加振器に供給される前記高周波電力の周波数を調整する制御部と、を備え、
前記制御部は、前記検出部が前記検査対象物の不良の検出を行う際に、前記駆動ユニットから前記超音波加振器に供給する前記高周波電力の周波数を変化させること、
を特徴とする不良検出装置。

[請求項8] 請求項7に記載の不良検出装置であって、
前記駆動ユニットから前記超音波加振器に供給される前記高周波電力の電流を検出する電流センサを備え、
前記制御部は、前記駆動ユニットから前記超音波加振器に供給される前記高周波電力の周波数を変化させる際に、前記電流センサで検出した電流が所定の範囲内となるように前記駆動ユニットから前記超音

波加振器に供給される前記高周波電力の電圧を調整すること、
を特徴とする不良検出装置。

[請求項9]

請求項7に記載の不良検出装置であって、

前記制御部は、前記駆動ユニットから前記超音波加振器に供給される前記高周波電力の電流が所定の範囲内となるように、前記駆動ユニットから前記超音波加振器に供給される前記高周波電力の周波数に対する前記駆動ユニットから前記超音波加振器に供給される前記高周波電力の電圧の変化を予め規定したマップを含み、

前記駆動ユニットから前記超音波加振器に供給される前記高周波電力の周波数を変化させる際に、前記マップに基づいて前記駆動ユニットから前記超音波加振器に供給される前記高周波電力の電圧を調整すること、

を特徴とする不良検出装置。

[請求項10]

請求項1から9のいずれか1項に記載の不良検出装置であって、

前記超音波加振器は、前記検査対象物の周囲に配置された超音波スピーカー、又は、前記検査対象物に接続されて前記検査対象物を超音波振動させる超音波振動子であること、

を特徴とする不良検出装置。

[請求項11]

請求項1から6のいずれか1項に記載の不良検出装置であって、

前記超音波加振器は、前記検査対象物の周囲に配置された指向性を有する複数の超音波スピーカーで構成されており、複数の前記超音波スピーカーは、各超音波スピーカーから発生した複数の超音波が前記検査対象物に集中するようにケーシングに取付けられていること、

を特徴とする不良検出装置。

[請求項12]

請求項11に記載の不良検出装置であって、

複数の前記超音波スピーカーにそれぞれ高周波電力を供給する複数の駆動ユニットと、

各前記駆動ユニットから各前記超音波スピーカーに供給される前記

高周波電力の周波数を調整する制御部と、を備え、

前記制御部は、前記検出部が前記検査対象物の不良の検出を行う際に、各前記駆動ユニットから各前記超音波スピーカーに供給する前記高周波電力の周波数を変化させること、

を特徴とする不良検出装置。

[請求項13]

請求項12に記載の不良検出装置であって、

各前記駆動ユニットから各前記超音波スピーカーに供給される前記高周波電力の電流をそれぞれ検出する電流センサを備え、

前記制御部は、各前記駆動ユニットから各前記超音波スピーカーに供給される前記高周波電力の周波数を変化させる際に、各前記電流センサで検出した電流が所定の範囲内となるように各前記駆動ユニットから各前記超音波スピーカーに供給される前記高周波電力の電圧を調整すること、

を特徴とする不良検出装置。

[請求項14]

請求項12に記載の不良検出装置であって、

前記制御部は、各前記駆動ユニットから各前記超音波スピーカーに供給される前記高周波電力の電流がそれぞれ所定の範囲内となるように、各前記駆動ユニットから各前記超音波スピーカーに供給される前記高周波電力の周波数に対する各前記駆動ユニットから各前記超音波スピーカーに供給される前記高周波電力の電圧の変化を予め規定したマップを含み、

各前記駆動ユニットから各前記超音波スピーカーに供給される前記高周波電力の周波数を変化させる際に、前記マップに基づいて各前記駆動ユニットから各前記超音波スピーカーに供給される前記高周波電力の電圧を調整すること、

を特徴とする不良検出装置。

[請求項15]

請求項12から14のいずれか1項に記載の不良検出装置であって、

前記制御部は、各前記駆動ユニットによって各前記超音波スピーカーが発生する各前記超音波の各位相をそれぞれ調整すること、
を特徴とする不良検出装置。

[請求項16]

検査対象物の不良を検出する不良検出方法であって、
前記検査対象物にコヒーレント光を照射し、前記検査対象物をカメラで撮像して前記検査対象物の静止時の画像を取得する静止時画像取得ステップと、
前記検査対象物に前記コヒーレント光を照射しながら超音波加振器によって前記検査対象物を超音波加振し、前記検査対象物を前記カメラで撮像して前記検査対象物の超音波振動時の画像を撮像する超音波振動時画像取得ステップと、
前記カメラで取得した前記検査対象物の静止時の画像と超音波振動時の画像との偏差に基づいて前記検査対象物の不良の検出を行う不良検出ステップと、を含むこと、

を特徴とする不良検出方法。

[請求項17]

請求項16に記載の不良検出方法であって、
前記静止時画像取得ステップは、前記カメラで前記検査対象物の表面で反射した前記コヒーレント光の干渉により発生する静止時の干渉パターンを含む画像を取得し、
前記超音波振動時画像取得ステップは、前記カメラの露光時間を前記検査対象物の超音波振動の周期よりも長くして、前記カメラで前記検査対象物の表面で反射した前記コヒーレント光の干渉により発生する超音波振動時の干渉パターンを含む画像を取得し、
前記不良検出ステップは、前記カメラで取得した前記検査対象物の静止時の干渉パターンを含む画像と超音波振動時の干渉パターンを含む画像との偏差に基づいて前記検査対象物の不良の検出を行うこと、
を特徴とする不良検出方法。

[請求項18]

請求項17に記載の不良検出方法であって、

前記不良検出ステップは、前記偏差に基づいて振動発生画素を特定し、特定した振動発生画素が所定値以上に密集している領域を不良領域に設定し、不良を検出すること、
を特徴とする不良検出方法。

[請求項19]

請求項18に記載の不良検出方法であって、

前記不良検出ステップは、特定した振動発生画素の周囲の所定範囲に所定個数の他の振動発生画素が存在する場合には、その画素の振動発生画素の特定を維持し、所定範囲に所定個数の振動発生画素が存在しない場合には、その画素の振動発生画素の特定を取り消すこと、
を特徴とする不良検出方法。

[請求項20]

請求項18又は19に記載の不良検出方法であって、

前記検査対象物の画像に、特定した振動発生画素に対応する表示を含ませた可視化画像をディスプレイに表示する表示ステップを更に含むこと、
を特徴とする不良検出方法。

[請求項21]

検査対象物の振動を検出する振動検出装置であって、

前記検査対象物を超音波加振する超音波加振器と、

前記検査対象物にコヒーレント光を照射するコヒーレント光源と、

前記コヒーレント光が照射された前記検査対象物を撮像して画像を取得する撮像素子を有するカメラと、

前記カメラが撮像した画像を処理して振動発生箇所を特定する検出部と、を備え、

前記カメラは、撮像の際の露光時間が前記検査対象物の超音波振動の周期よりも長く、前記検査対象物の表面で反射した前記コヒーレント光の干渉により発生する干渉パターンを含む画像を取得し、

前記検出部は、前記カメラが取得した前記検査対象物の静止時の干渉パターンを含む画像と超音波振動時の干渉パターンを含む画像との偏差に基づいて前記検査対象物の前記振動発生箇所の特定を行うこと

、

を特徴とする振動検出装置。

[請求項22]

請求項 2 1 に記載の振動検出装置であって、

前記検査対象物の画像を表示するディスプレイを含み、

前記検出部は、前記偏差に基づいて前記振動発生箇所を示す振動発生画素を特定し、前記検査対象物の画像に、特定した振動発生画素に対応する表示を含ませた可視化画像を前記ディスプレイに表示すること、

を特徴とする振動検出装置。