

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の電極と半導体素子の電極とをワイヤで接続するワイヤボンディングが行われる。ワイヤボンディングにおいては、基板の電極とワイヤとの接合部、或いは、半導体素子の電極とワイヤとの接合部に接合不良が発生する場合がある。このような接続不良は、目視では判断が難しいので、ワイヤから半導体チップに対し適当な電流を入射し、流れる電流値を測定して電氣的に接続不良を判定する方法が用いられる（例えば、特許文献 1 参照）。

[0003] また、走査型電子顕微鏡（SEM）により接合部を監察して接合状態を判断することも行われている（例えば、特許文献 2 参照）。

先行技術文献

特許文献

[0004] 特許文献 1：特開平 9－6 4 1 1 6 号公報

特許文献 2：特許 2 0 0 2－3 5 9 2 6 1 号公報

発明の概要

発明が解決しようとする課題

[0005] ところで、ワイヤボンディングにおいては、ボンディングしたワイヤが電極の表面からわずかに浮いているような場合や、ワイヤが電極に接触しているが接合されていない場合、ボールネックとルーピングワイヤとが微小なクラックで切れている場合等のように、画像では検出が難しい接合不良が発生する場合がある。

[0006] このような、微小な接合不良は、例えば、ボンディング後にワイヤを引張

して接合強度をチェックする方法があるが、全てのボンディング箇所について引張試験を実施すると検査に非常に多くの時間が掛かってしまい、生産性が大きく低下してしまうという問題があった。

[0007] そこで、本発明は、簡便な構成で短時間に検査対象物の不良の検出を行うことを目的とする。

課題を解決するための手段

[0008] 本発明の不良検出装置は、被接合物に接合物を接合した検査対象物の不良を検出する不良検出装置であって、定在波を発生させ、発生させた定在波を検査対象物に印加して接合物に吸引力を付与する定在波発生器と、検査対象物を撮像する撮像装置と、定在波発生器の動作を調整すると共に検査対象物の不良の検出を行う制御部と、を備え、制御部は、接合物に吸引力が付与された第1状態の検査対象物の第1画像と、第1状態よりも接合物に付与される吸引力が小さい第2状態の検査対象物の第2画像と、を撮像装置により撮像し、第1状態の第1画像と第2状態の第2画像とを比較して検査対象物の不良の検出を行うこと、を特徴とする。

[0009] このように、定在波を検査対象物に印加すると、検査対象物の接合物は、定在波の音の節に吸引されて変形する。このため、接合物に吸引力が付与された第1状態の検査対象物の第1画像と、第1状態よりも接合物に付与される吸引力が小さい第2状態の検査対象物の第2画像を撮像し、第1画像と第2画像とを比較することにより不良の検出を行うことができる。また、多数の検査対象物に同時に定在波を印加して多数の検査対象物の第1画像と第2画像とを比較することにより、短時間に多数の検査対象物の不良の検出を行うことができる。

[0010] 本発明の不良検出装置において、定在波発生器は、対向して配置される少なくとも1組の超音波発生器としてもよい。

[0011] これにより、簡便な方法で定在波を発生させることができる。

[0012] 本発明の不良検出装置において、定在波発生器は、超音波発生器と、超音波発生器と対向して配置される反射面と、で構成してもよい。

- [0013] これにより、簡便な方法で定在波を発生させることができる。
- [0014] 本発明の不良検出装置において、定在波発生器は、定在波の音圧の節の位置が検査対象物の直上となるように配置されてもよい。
- [0015] このように、定在波の音圧の節の位置が検査対象物の直上となるように配置することにより、不良の存在する検査対象物は、音圧の節に向かって上方に引っ張り上げられるように変形するので、この変形を検出することにより検査対象物の不良を検出することができる。
- [0016] 本発明の不良検出装置において、超音波発生器は、複数の超音波スピーカーまたは超音波振動子で構成される超音波フェーズドアレイであり、1組の超音波フェーズドアレイの間に発生する定在波の焦点領域が検査対象物の直上となるように、各超音波スピーカーまたは各超音波振動子の発生する超音波の周波数と振幅と位相の内のいずれか1つまたは複数の設定されてもよい。
- [0017] 本発明の不良検出装置において、超音波発生器は、複数の超音波スピーカーまたは超音波振動子で構成される超音波フェーズドアレイであり、超音波フェーズドアレイと反射面との間に発生する定在波の焦点領域が検査対象物の直上となるように、各超音波スピーカーまたは各超音波振動子の発生する超音波の周波数と振幅と位相の内のいずれか1つまたは複数の設定されてもよい。
- [0018] このように、音が強められる定在波の焦点領域が検査対象物の直上となるように各パラメータを設定することにより、吸引力の大きな音圧の節を検査対象物の直上に位置させることができ、検査対象物の変形を大きくすることができる。これにより、検査対象物の不良の検出精度を向上させることができる。
- [0019] 本発明の不良検出装置において、被接合物を上面に吸着固定するステージを含み、超音波フェーズドアレイは、ステージの上面に沿った方向に進行する超音波を発生させ、定在波の焦点領域が検査対象物の接合物の直上となるように各超音波スピーカーまたは各超音波振動子の発生する超音波の周波数

と振幅と位相の内のいずれか1つまたは複数が設定されてもよい。

[0020] このように、超音波フェーズドアレイからステージの上面に沿った方向に進行する超音波を発生させて定在波を発生させ、各パラメータを変更することにより焦点領域を上下方向に移動させることができる。このため、超音波フェーズドアレイの位置を固定したままで焦点領域が接合物の直上となるように設定することができる。これにより、音が強められる定在波の焦点領域を接合物の直上に位置させて大きな吸引力で接合物を上方向に吸引して不良の存在する接合物の変形を大きくすることができる。これにより、不良の存在する接合物の検出精度を向上させることができる。

[0021] 本発明の不良検出装置において、被接合物を上面に吸着固定するステージを含み、反射面は、ステージの上面に吸着固定された被接合物の表面であり、超音波発生器は、ステージの上方に配置され、超音波発生器と被接合物の表面との間に発生した定在波の音圧の節の位置が接合物の直上となる周波数の超音波を発生させてもよい。

[0022] このように、超音波フェーズドアレイをステージの上方に配置することにより、不良検出装置の設置スペースを小さくできる。

[0023] 本発明の不良検出装置において、超音波発生器は、複数の超音波スピーカまたは超音波振動子で構成される超音波フェーズドアレイでもよい。

[0024] 本発明の不良検出装置において、検査対象物は、基板と、基板に取付けられた半導体素子と、半導体素子の電極と基板の電極とに接合されて各電極の間を接続するワイヤと、で構成される半導体装置であり、検査対象物の被接合物は、基板と基板に取付けられた半導体素子であり、検査対象物の接合物は、ワイヤでもよい。

[0025] 本発明の不良検出方法は、被接合物に接合物を接合した検査対象物の不良を検出する不良検出方法であって、定在波を発生させ、発生させた定在波を検査対象物に印加して接合物に吸引力を付与する定在波発生器と、検査対象物を撮像する撮像装置と、を備える不良検出装置を準備する工程と、接合物に吸引力が付与された第1状態の検査対象物の第1画像を撮像装置により撮

像する第1画像撮像工程と、第1状態よりも接合物に付与される吸引力が小さい第2状態の検査対象物の第2画像を撮像装置により撮像する第2画像撮像工程と、第1状態の第1画像と第2状態の第2画像とを比較して検査対象物の不良の検出を行う不良検出工程と、を有すること、を特徴とする。

[0026] これにより、簡便な構成で短時間に検査対象物の不良の検出を行うことができる。

[0027] 本発明の不良検出方法において、定在波の音圧の節の位置が検査対象物の直上となるように定在波発生器の検査対象物に対する相対位置を調整する位置調整工程を含んでもよい。

[0028] 本発明の不良検出方法において、定在波発生器は、複数の超音波スピーカ—または超音波振動子で構成される超音波フェーズドアレイを対向配置して構成され、超音波フェーズドアレイの間に発生する定在波の焦点領域が検査対象物の直上となるように、各超音波スピーカ—または各超音波振動子の発生する超音波の周波数と振幅と位相の内のいずれか1つまたは複数を調整する焦点領域調整工程を含んでもよい。

[0029] 本発明の不良検出方法において、定在波発生器は、複数の超音波スピーカ—または超音波振動子で構成される超音波フェーズドアレイと、超音波フェーズドアレイと対向して配置される反射面と、で構成され、超音波フェーズドアレイと反射面との間に発生する定在波の焦点領域が検査対象物の直上となるように、各超音波スピーカ—または各超音波振動子の発生する超音波の周波数と振幅と位相の内のいずれか1つまたは複数を調整する焦点領域調整工程を含んでもよい。

[0030] これにより、吸引力の大きい音圧の節を検査対象物の直上に位置させて検査対象物を確実に吸引、変形させることができ、不良の検出精度を向上させることができる。

[0031] 本発明の不良検出方法において、不良検出装置は、被接合物を上面に吸着固定するステージを含み、超音波フェーズドアレイは、ステージの上面に沿った方向に進行する超音波を発生させ、焦点領域調整工程は、定在波の焦点

領域が接合物の直上となるように各超音波スピーカーまたは各超音波振動子の発生する超音波の周波数と振幅と位相の内のいずれか1つまたは複数を調整してもよい。

[0032] このように、超音波フェーズドアレイからステージの上面に沿った方向に進行する超音波を発生させて定在波を発生させ、各パラメータを調整することにより焦点領域を上下方向に移動させることができる。このため、超音波フェーズドアレイの位置を固定したままで焦点領域が接合物の直上となるように調整することができる。これにより、音が強められる定在波の焦点領域を接合物の直上に位置させて大きな吸引力で接合物を上方向に吸引して不良の存在する接合物の変形を大きくすることができる。これにより、不良の存在する接合物の検出精度を向上させることができる。

[0033] 本発明の不良検出方法において、不良検出装置は、被接合物を上面に吸着固定するステージを含み、定在波発生器は、ステージの上面に吸着固定された被接合物の表面と、複数の超音波スピーカーまたは超音波振動子で構成される超音波フェーズドアレイであってステージの上方にステージの上面と対向するように配置された超音波フェーズドアレイとで構成され、各超音波スピーカーまたは各超音波振動子の発生する超音波の周波数と振幅と位相の内のいずれか1つまたは複数を調整して、超音波フェーズドアレイと被接合物の表面との間に発生する定在波の焦点領域のステージの上面に沿った方向の位置を調整する焦点領域位置調整工程を含んでもよい。

[0034] このように、音が強められる定在波の焦点領域のステージの上面に沿った方向の位置を調整することにより、検査対象物が大きい場合でも検査対象物或いは超音波フェーズドアレイを移動させずに検査対象物の不良の検出を行うことができる

[0035] 本発明の不良検出方法において、検査対象物は、基板と、基板に取付けられた半導体素子と、半導体素子の電極と基板の電極とに接合されて各電極の間を接続するワイヤと、で構成される半導体装置であり、検査対象物の被接合物は、基板と基板に取付けられた半導体素子であり、検査対象物の接合物

は、ワイヤでもよい。

発明の効果

[0036] 本発明は、簡便な構成で短時間に検査対象物の不良の検出を行うことができる。

図面の簡単な説明

[0037] [図1]実施形態の不良検出装置の構成を示す系統図である。

[図2]検査対象物である半導体装置の平面図である。

[図3]図1に示す不良検出装置の超音波フェーズドアレイによって発生させた定在波の焦点領域の上下方向の移動を示す側面図である。

[図4]定在波の音圧の節に発生する吸引力を模式的に示す説明図である。

[図5]図1に示す不良検出装置によってワイヤの接合不良の検出を行う工程を示すフローチャートである。

[図6]図1に示す不良検出装置で半導体装置に定在波を印加した際にワイヤのステッチボンド部が上方向に吸引された状態を示す側面図である。

[図7]図1に示す不良検出装置で半導体装置に定在波を印加した際にワイヤのボールネック部が上方向に吸引された状態を示す側面図である。

[図8]定在波を印加する前に一方のカメラで撮像したワイヤの二次元静止画像を示す図である。

[図9]定在波を印加する前に他方のカメラで撮像したワイヤの二次元静止画像を示す図である。

[図10]定在波を印加する前のワイヤの三次元静止画像である。

[図11]定在波を印加した状態で一方のカメラで撮像したワイヤの二次元吸引画像を示す図である。

[図12]定在波を印加した状態で他方のカメラで撮像したワイヤの二次元吸引画像を示す図である。

[図13]定在波を印加した状態のワイヤの三次元吸引画像である。

[図14]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15]もう一つの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16]図15に示す不良検出装置の超音波フェーズドアレイによって発生させた定在波の焦点領域の水平方向の移動を示す側面図である。

[図17]図15に示す不良検出装置で半導体装置に定在波を印加した際にワイヤのステッチボンド部が上方向に吸引された状態を示す側面図である。

[図18]図15に示す不良検出装置で半導体装置に定在波を印加した際にワイヤのボールネック部が上方向に吸引された状態を示す側面図である。

発明を実施するための形態

[0038] 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に示すように、不良検出装置100は、ステージ19と、超音波フェーズドアレイ21、22と、カメラ41、42と、制御部50と、超音波フェーズドアレイコントローラ55と、で構成されている。尚、以下の説明では、不良検出装置100は、半導体装置10の不良の検出を行うこととして説明するが、他の製品の不良の検出を行うことも可能である。また、以下の説明では、図1の右側をY方向、水平面内でY方向と直交する方向をX方向、上下方向をZ方向として説明する。また、Y方向マイナス側の方向を左側、反対のY方向プラス側を右側、X方向プラス側を前方、X方向マイナス側を後方、Z方向プラス側を上方、Z方向マイナス側を下方として説明する。

[0039] ステージ19は、上面19aに検査対象物である半導体装置10を吸着固定する。上面19aは水平な面となっている。図2に半導体装置10の一例を示す。図2に示すように半導体装置10は、基板11の上に半導体素子12が取付けられており、半導体素子12の電極14と、基板11の電極15との間を金線等のワイヤ13で接続したものである。ここで、基板11と基板11に取付けられた半導体素子12とは、ワイヤ13が接合される被接合物であり、ワイヤ13は、基板11の電極15と半導体素子12の電極14とに接合される接合物である。

[0040] 図1に示すように、ステージ19の両側のZ方向プラス側の上方には、撮像装置であるカメラ41、42が配置されている。各カメラ41、42は半

導体装置 10 上側方から半導体装置 10 の二次元画像をそれぞれ撮像し、撮像した二次元画像のデータを制御部 50 に出力する。

[0041] 制御部 50 は、内部に情報処理を行う CPU 51 と、動作プログラムやカメラ 41、42 から入力された画像データを格納するメモリ 52 とを備えるコンピュータである。制御部 50 は、カメラ 41、42 から入力された半導体装置 10 の二次元画像のデータを処理して半導体装置 10 の不良を検出する。制御部 50 は、不良を検出した場合には、外部に不良検出信号を出力する。

[0042] 超音波発生器である超音波フェーズドアレイ 21、22 は、ステージ 19 の両側に配置されている。超音波フェーズドアレイ 21、22 は、複数、例えば、数十～数百の超音波振動子 23 を平面状に配置した装置である。超音波フェーズドアレイ 21、22 は、空間内の一点においてすべての超音波振動子 23 からの位相が等しくなるように駆動位相を制御すると、図 1 中に二点鎖線 36、37 で示すようにその点に集束する超音波ビームを形成させることができる。超音波ビームが集束する焦点領域 35 ではそれぞれの発振子からの超音波の振幅が加算されることで大振幅の超音波が得られる。

[0043] ステージ 19 の右側の超音波フェーズドアレイ 21 は、超音波振動子 23 が配置された超音波の発生面 21a が垂直で Y 方向マイナス側に向かうように配置されており、ステージ 19 の上面 19a に沿って Y 方向マイナス側に進行する超音波を発生させる。一方、ステージ 19 の左側の超音波フェーズドアレイ 22 は、超音波振動子 23 が配置された超音波の発生面 22a が垂直で Y 方向プラス側に向かうように配置されており、ステージ 19 の上面 19a に沿って Y 方向プラス側に進行する超音波を発生させる。このように、超音波の発生面 21a、22a が対向するように配置された 1 組の超音波フェーズドアレイ 21、22 は、各超音波フェーズドアレイ 21、22 から進行方向の異なる超音波をそれぞれ発生させ、その超音波を合成することにより、2 つの超音波フェーズドアレイ 21、22 の間に定在波 30 を発生させることができる。従って、1 組の超音波フェーズドアレイ 21、22 は、進

行方向の異なる超音波を合成して定在波30を発生させる定在波発生器20を構成する。

[0044] 定在波30は、2つの超音波フェーズドアレイ21、22の間で振動の極大となる位置と振動の極小となる位置が空間的に移動しない超音波である。振動の一番大きい点を音圧の腹33、一番小さい点を音圧の節31という。隣り合う節31の間の距離は、超音波フェーズドアレイ21、22が発生する超音波の波長 λ の $1/2$ である。実施形態の不良検出装置100では、2つの超音波フェーズドアレイ21、22は、図1に示すように焦点領域35、音圧の節31が半導体装置10の直上に位置するような高さに取付けられている。

[0045] 超音波フェーズドアレイ21、22は超音波フェーズドアレイコントローラ55に接続されている。超音波フェーズドアレイコントローラ55は、内部に情報処理を行うCPU56と、制御プログラム等のデータを格納するメモリ57とを備えるコンピュータである。超音波フェーズドアレイコントローラ55は、制御部50からの指令に基づいて、各超音波フェーズドアレイ21、22の各超音波振動子23の振動数、振幅、位相を調整する。

[0046] 各超音波振動子23の発生する超音波の周波数を調整すると、定在波30の音圧の節31の間隔を調整することができる。また、各超音波振動子23の発生する超音波の振幅、位相を調整することにより、図3に示すように焦点領域35の位置、大きさを調整することができる。例えば、各超音波振動子23の発生する超音波の振幅と位相とを調整することにより、矢印91、92に示すように超音波ビームの形状を破線36a、37aで示す形状から二点鎖線36、37で示す形状に変更し、焦点領域35のZ方向の位置を破線で示す超音波フェーズドアレイ21、22のZ方向の中央近傍の焦点領域35aから、二点鎖線で示す焦点領域35のように半導体装置10の直上の位置まで移動させることができる。

[0047] 本実施形態の不良検出装置100では、不良の検出を開始する前に、検査対象物の大きさに合わせて超音波フェーズドアレイコントローラ55により

各超音波振動子 23 の発生する超音波の振幅、位相を変化させ、図 1、3 中に二点鎖線で示すように定在波 30 の焦点領域 35、音圧の節 31 が検査対象物である半導体装置 10 の直上となるよう振幅と位相とを調整、設定してもよい。また、同時に検出対象物に応じて超音波振動子 23 の発生する超音波の周波数を調整し、検出対象物に対して適切な周波数に設定してもよい。周波数は、例えば、50 kHz から 1 MHz の間で自由に設定してもよい。

[0048] 次に図 4 を参照しながら、定在波 30 の音圧の節 31 の吸引力について説明する。図 4 に示すように、密度が空気よりも十分大きく、圧縮率が空気よりも十分小さい場合、定在波 30 の中にある体積 V (m^3) の粒子は、定在波 30 の音場から以下のような力 F (N) を受ける。

$$F = -V \times \nabla U \quad \dots \dots \dots \quad (\text{式 1})$$

$$U = - (3/2) \langle K a \rangle + \langle P a \rangle \quad \dots \dots \dots \quad (\text{式 2})$$

ここで、 U (J/m^3) はポテンシャル分布を表し、粒子はポテンシャルが低い方へ向かう力 F を受ける。 $K a$ (J/m^3) は、音場の運動エネルギー密度、 $P a$ (J/m^3) は音場のポテンシャルエネルギー密度である。また、 $\langle \dots \rangle$ は時間平均を表す。

[0049] 定在波 30 では、音圧の節 31 (すなわち粒子速度の腹) の位置でポテンシャルは最小値となる。このため、図 4 に示すように粒子には音圧の節 31 に向かうように力 F が加わり、粒子は音圧の節 31 に吸引される。力 F は、 Y 方向に節 31 に向かう力と、 X 方向、 Z 方向に節 31 に向かう力の合計となる。従って、定在波 30 の節 31 は、 Y 方向に節 31 に向かって粒子を吸引すると共に、 X 、 Z 方向に節 31 に向かって粒子を吸引する。

[0050] 次に図 5～図 7 を参照しながら実施形態の不良検出装置 100 を用いて、半導体装置 10 のワイヤ 13 の接続不良の検出を行う工程について説明する。

[0051] 図 5 のステップ S101 に示すように、制御部 50 は、最初に検査対象物の大きさに合わせて超音波フェーズドアレイコントローラ 55 により各超音波振動子 23 の発生する超音波の振幅、位相を変化させ、定在波 30 の焦点

領域 35 が検査対象物である半導体装置 10 の直上となるよう振幅と位相とを調整、設定する焦点領域調整工程を実施する。この際、制御部 50 は、半導体装置 10 の直上の位置に取付けられた音圧レベルを検出する音圧センサあるいはマイクロホン（図示せず）の検出した音圧レベルに基づいて超音波フェーズドアレイコントローラ 55 によって各超音波振動子 23 の発生する超音波の振幅、位相を変化させ、音圧レベルが所定の閾値に入る振幅、位相に調整、設定するようにしてもよい。また、制御部 50 は、音圧センサあるいはマイクロホンで音圧レベルを取得して検出対象物に応じて超音波振動子 23 の発生する超音波の周波数を調整し、検出対象物に対して適切な周波数に設定する。この焦点領域調整工程によって焦点領域 35 が半導体装置 10 の直上の位置となると、焦点領域 35 の中に位置する音圧の節 31 の位置も半導体装置 10 の直上の位置となる。

[0052] 焦点領域調整工程においては、例えば、細かなポリスチレンの粒子を焦点領域 35 の中の音圧の節 31 に保持させることによって焦点領域 35 を可視化し、マニュアルで焦点領域 35 の位置の調整を行ってもよい。

[0053] 尚、検査対象物の大きさによっては、2つの超音波フェーズドアレイ 21、22 の半導体装置 10 に対する相対位置を調整して音圧の節 31 の位置が半導体装置 10 の直上となるようにマニュアルで位置調整工程を実行してもよい。位置調整工程は、2つの超音波フェーズドアレイ 21、22 の半導体装置 10 に対する相対的な高さを変化できれば、例えば、半導体装置 10 を吸着固定するステージ 19 を Z 方向に移動させてもよいし、2つの超音波フェーズドアレイ 21、22 を Z 方向に移動させてもよい。

[0054] 制御部 50 は、焦点領域調整工程が終了したら、図 5 のステップ S102 に進んで、半導体装置 10 に定在波 30 を印加する前にカメラ 41、42 で半導体装置 10 のワイヤ 13 の二次元静止画像 61、62（図 8、図 9 参照）を取得し、図 5 のステップ S103 で取得した二次元静止画像 61、62 をメモリ 52 に格納する（静止画像撮像工程）。カメラ 41、42 は図 1 に示すように、ステージ 19 の両側の上方に取付けられているので、図 8、図

9に示すように、一方のカメラ41が撮像した二次元静止画像61と他方のカメラ42が撮像した二次元静止画像62とは、異なる画像となっている。

[0055] 次に制御部50は、図5のステップS104に示すように、2つの超音波フェーズドアレイ21、22を駆動して定在波30を発生させ、半導体装置10に定在波30を印加する。

[0056] 2つの超音波フェーズドアレイ21、22を駆動して定在波30を発生させると、図6に示すように、定在波30は、半導体装置10のワイヤ13の直上の位置に複数の音圧の節31が並ぶように出現し、半導体装置10の基板11、半導体素子12の直上に焦点領域35が出現する。先に説明したように焦点領域35或いは、その周辺は、音波が強められており、音圧の節31の吸引力が大きくなっている。

[0057] このため、基板11、半導体素子12、ワイヤ13は、音圧の節31に向かって吸引される吸引力が付与され、上方向に吸い上げられる。ここで、基板11はステージ19の上面19aに吸着固定されており、半導体素子12は基板11の上に接着されているので、音圧の節31には吸い上げられない。

[0058] ところが、ワイヤ13のステッチボンド部18と、基板11の電極15との接合が不良で、微小な隙間やクラックが存在する場合や、接触しているだけで接合していないような場合には、図6に示すように、ワイヤ13のステッチボンド部18は、図6中でハッチング入りの矢印95で示す音圧の節31の上方向に向かう吸引力によって上方向に吸い上げられ、ステッチボンド部18aのように上方向に向かって変形する。一方、ボールボンド部16と半導体素子12の電極14とのようにワイヤ13と電極14との接合が良好な場合には、ワイヤ13の変形は発生しない。

[0059] 反対に、ステッチボンド部18と基板11の電極15との接合が良好で、ボールボンド部16の上側のボールネック部17に割れが発生していた場合には、図7に示すように、ワイヤ13のボールネック部17が音圧の節31の吸引力によって上方向に吸い上げられ、ボールネック部17aのように上

方向に向かって変形する。

[0060] そこで、制御部50は、2つの超音波フェーズドアレイ21、22によって発生させた定在波30を半導体装置10に印加した状態で、図5のステップS105に示すように、カメラ41、42で半導体装置10のワイヤ13の二次元吸引画像71、72（図11、12参照）を撮像してステップS106でメモリ52に格納する（吸引画像撮像工程）。先に説明した二次元静止画像61、62と同様、カメラ41、42はステージ19の両側の上方に取付けられているので、一方のカメラ41が撮像した二次元吸引画像71と他方のカメラ42が撮像した二次元吸引画像72とは、異なる画像となっている。

[0061] 制御部50は、図5のステップS107で2つのカメラ41、42でそれぞれ撮像した二次元静止画像61、62をメモリ52から読み出して、図10に示すように、定在波30を印加する前の半導体装置10のワイヤ13の三次元静止画像63を生成する。同様に、制御部50は、2つのカメラ41、42でそれぞれ撮像したワイヤ13の二次元吸引画像71、72をメモリ52から読み出し、図13に示すように、定在波30を印加した状態の半導体装置10のワイヤ13の三次元吸引画像73を生成する。ここで、三次元静止画像63と三次元吸引画像73とを生成するのは、図6、図7に示すように、ワイヤ13の変形が上方向でも変形前後のワイヤ13の画像の差を良好に検出するためである。

[0062] そして、制御部50は、図5のステップS108において、生成した三次元静止画像63と三次元吸引画像73とを比較する。先に図6を参照して説明したように、ワイヤ13に接合不良が無い場合には、ワイヤ13には変形が発生せず、ワイヤ13に接合不良がある場合には、ワイヤ13に変形が発生する。このため、制御部50は、図5のステップS107に示すように、定在波30を印加前の三次元静止画像63と定在波30の印加状態或いは印加後の三次元吸引画像73とを比較し、図13に示すように各部位ごとにその差分 Δd を算出する。尚、図13では、一例としてワイヤ13のステッチ

ボンド部18の近傍の2つ部位P1、P2での差分 $\Delta d1$ 、 $\Delta d2$ を示している。この際、制御部50は、図2に示すような半導体装置10の多数のワイヤ13全てについて各部位ごとに差分 Δd を算出する。

[0063] そして、制御部50は、図6のステップS109で差分 Δd が閾値 ΔS よりも大きい部位が有るかどうかを判断し、差分 Δd が閾値 ΔS よりも大きい場合には、図6のステップS109でYESと判断して図6のステップS110に進んでワイヤ不良検出信号を外部に出力する。また、図6のステップS109でNOと判断した場合には、図6のステップS111に進んでワイヤ良好信号を外部に出力する（不良検出工程）。

[0064] ここで、ワイヤ不良検出信号は、図2に示す半導体装置10の多数のワイヤ13の内の少なくとも1本に接合不良が発生していることを示す信号であり、ワイヤ良好信号は、図2に示す半導体装置10の多数のワイヤ13の全ての接合が良好であることを示す信号である。

[0065] 以上説明したように、実施形態の不良検出装置100は、定在波30を印加する前の半導体装置10の二次元静止画像61、62をカメラ41、42で撮像した後、1組の超音波フェーズドアレイ21、22によって発生させた定在波30を半導体装置10に印加し、定在波30の音圧の節31にワイヤ13の接合不良の部分を吸引させて上方向に変形させ、変形後のワイヤ13を含む半導体装置10の二次元吸引画像71、72をカメラ41、42で撮像し、三次元静止画像63と三次元吸引画像73とを生成し、生成した三次元静止画像63と三次元吸引画像73とを比較することにより多数のワイヤ13の不良の検出を行う。このように、実施形態の不良検出装置100は、簡便な構成で短時間に多数のワイヤ13の不良の検出を行うことができる。

[0066] 以上の説明の二次元吸引画像71、72、三次元吸引画像73は、ワイヤ13に吸引力が付与された第1状態の半導体装置10の第1画像であり、二次元静止画像61、62、三次元静止画像63は、ワイヤ13に付与される吸引力が第1状態よりも小さい第2状態の第2画像である。また、吸引画像

撮像工程は第1画像撮像工程であり、静止画像撮像工程は第2画像撮像工程である。

[0067] 尚、以上の説明では、三次元静止画像63と三次元吸引画像73とを比較して不良の検出を行うこととして説明したが、これに限らず、例えば、カメラ41、42で撮像した、二次元静止画像61、62と二次元吸引画像71、72を比較してワイヤ13の不良の検出を行うようにしてもよい。

[0068] また、上記の説明では、多数のワイヤ13の内の少なくとも1本に接合不良が発生しているか、多数のワイヤ13の全ての接合が良好であるかを判定することとして説明したが、これに限らず、差分 Δd が閾値 ΔS よりも大きい箇所を特定して半導体装置10の画像の上に不良個所として表示するようにしてもよい。

[0069] また、以上説明した不良検出装置100では、数十〜数百の超音波振動子23を平面状に配置した超音波フェーズドアレイ21、22を用いることとして説明したがこれに限らず、例えば、複数の超音波スピーカーを平面状に配置して超音波フェーズドアレイ21、22を構成してもよい。

[0070] 更に、超音波フェーズドアレイ21、22に代えて、超音波発生器として超音波スピーカーを用い、超音波スピーカーを対向配置して定在波30を発生させる定在波発生器20を構成してもよい。

[0071] 次に図14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。不良検出装置200は、先に図1から図13を参照して説明した不良検出装置100の2つの超音波フェーズドアレイ21、22で構成された定在波発生器20に代えて、1つの超音波フェーズドアレイ21と、超音波フェーズドアレイ21に対向するようにステージ19の左側に配置された反射板24とで定在波30を発生させる定在波発生器25を構成したものである。その他の点は、先に説明した不良検出装置100と同一なので、同一部位には、同一の符号を付して説明は省略する。

[0072] ここで、反射板24は、超音波を反射する反射面24aを有していれば、金属製でもよいし、樹脂やガラスで構成されていてもよい。また、超音波を

反射する反射面 24 a は、超音波を反射できる平滑な平面であればよい。

[0073] 次に図 15 から図 18 を参照しながら他の実施形態の不良検出装置 300 について説明する。図 15 に示すように、不良検出装置 300 は、超音波フェーズドアレイ 21 は、ステージ 19 の上方で、超音波の発生面 21 a がステージ 19 の上面 19 a と対向するように配置されている。そして、超音波フェーズドアレイ 21 で発生させた超音波をステージ 19 の上に吸着固定された半導体装置 10 の基板 11 の表面 11 a で反射させ、超音波フェーズドアレイ 21 と、半導体装置 10 の基板 11 の表面 11 a との間に定在波 30 を発生させるよう構成したものである。基板 11 の表面 11 a は超音波を反射する反射面を構成し、超音波フェーズドアレイ 21 と基板 11 の表面 11 a とは定在波 30 を発生させる定在波発生器 26 を構成する。不良検出装置 300 は、超音波フェーズドアレイ 21 がステージ 19 の上方に配置されているので、少ない設置スペースに設置することができる。

[0074] 図 15 に示す不良検出装置 300 では、定在波 30 の音圧の節 31 が半導体装置 10 の直上となるように、超音波フェーズドアレイ 21 の発生する超音波の周波数を調整する。定在波 30 の音圧の節 31 は、図 15 に示すように、基板 11 の表面 11 a から超音波の波長 λ の半分の $\lambda/2$ の高さに発生する。基板 11 の表面 11 a からワイヤ 13 の最上部までの高さが h の場合、 $\lambda/2$ が h よりも少し大きくなる程度の周波数に設定する。例えば、ワイヤ 13 の高さ h が 500 (μm) の場合、周波数を 200~300 (kHz) に設定する。

[0075] 図 16 に示すように、不良検出装置 300 では、焦点領域 35 は超音波フェーズドアレイ 21 と基板 11 の表面 11 a との中間より少し基板 11 によった高さに発生する。先に図 3 を参照して説明したと同様、超音波フェーズドアレイ 21 の各超音波振動子 23 の振幅と位相とを調整することにより、焦点領域 35 をステージ 19 の上面 19 a に沿って XY 方向に移動させることができる。例えば、図 16 に示すように、各超音波振動子 23 の発生する超音波の振幅と位相とを調整することにより、矢印 93、94 に示すように

超音波ビームの形状を破線36a、37aで示す形状から二点鎖線36、37で示す形状に変更し、焦点領域35のZ方向の位置を破線で示す半導体素子12の直上の焦点領域35aから、二点鎖線で示す焦点領域35のようにワイヤ13の直上の位置までY方向に移動させることができる。これにより、定在波30の中心を検査対象部位であるワイヤ13の近傍に移動させることができる。

[0076] 次に、図17、図18を参照して不良検出装置300によるワイヤ13の接合不良の検出動作について説明する。尚、先に説明した不良検出装置100の動作と同様の動作については、説明を省略する。

[0077] 制御部50は、最初に定在波30の音圧の節31の位置がワイヤ13の直上に位置するように、超音波フェーズドアレイ21の発生する超音波の周波数を調整する。また、半導体装置10の構成に応じて、超音波フェーズドアレイ21の各超音波振動子23の振幅、周波数を調整して焦点領域35のXY方向の位置を調整する（焦点領域位置調整工程）。

[0078] 図17に示すように、定在波30を半導体装置10のワイヤ13に印加すると、基板11から高さ $\lambda/2$ の位置に音圧の節31が発生する。先に説明したように音圧の節31の位置がワイヤ13の最上部までの高さよりも少し高くなるように超音波フェーズドアレイ21の発生する超音波の周波数が調整されている。このため、図17に示すように、音圧の節31は、ワイヤ13の少し上側に発生する。音圧の節31は、図17中のハッチング矢印98で示すように、周囲の粒子に音圧の節31に向かう力を及ぼす。

[0079] また、不良検出装置300では、超音波フェーズドアレイ21で発生させた超音波を基板11の表面11aで反射させて定在波30を発生させている。このため、超音波フェーズドアレイ21で発生させた超音波が反射する基板11の表面11aにも音圧の節32が発生する。音圧の節32は、図17中のハッチング矢印99で示すように、周囲の粒子に音圧の節32に向かう力を及ぼす。

[0080] 音圧の節31は、ワイヤ13を上方向に吸引してワイヤ13を上方向への

引張力を印加する。一方、音圧の節３２はワイヤ１３を下方向に吸引してワイヤ１３に下方向への引張力を印加する。しかし、音圧の節３２に発生する吸引力は、音圧の節３１に発生する吸引力に比べて非常に小さいので、ワイヤ１３は音圧の節３１に向かって上方向に吸引される。ワイヤ１３のステッチボンド部１８と基板１１の電極１５との接合が不良の場合、ワイヤ１３のステッチボンド部１８は上方向に変形したステッチボンド部１８aとなる。

[0081] 同様に、図１８に示すようにボールネック部１７に割れが有る場合には、ワイヤ１３のボールネック部１７が音圧の節３１の吸引力によって上方向に吸い上げられ、ボールネック部１７aのように上方向に向かって変形する。

[0082] このため、不良検出装置３００は、不良検出装置１００と同様、定在波３０を印加する前の半導体装置１０のワイヤ１３の二次元静止画像６１、６２をカメラ４１、４２で撮像した後、定在波３０を半導体装置１０に印加し、定在波３０によりワイヤ１３の接合不良の部分を吸引させて上方向に変形させ、変形後のワイヤ１３を含む半導体装置１０の二次元吸引画像７１、７２をカメラ４１、４２で撮像し、三次元静止画像６３と三次元吸引画像７３を生成し、生成した三次元静止画像６３と三次元吸引画像７３とを比較することにより多数のワイヤ１３の不良の検出を行う。このように、実施形態の不良検出装置３００は、簡便な構成で短時間に多数のワイヤ１３の不良の検出を行うことができる。

[0083] 不良検出装置３００でワイヤ１３の不良検出を行う際に、超音波フェーズドアレイ２１の各超音波振動子２３の振幅、位相を調整して焦点領域３５のXY方向の位置を移動させながら二次元吸引画像７１、７２を撮像するようにしてもよい。これにより、定在波３０の強い領域をワイヤ１３の上に位置させた状態で二次元吸引画像７１、７２を撮像するのでワイヤ１３の変形を大きくすることができ、ワイヤ１３の不良検出の精度を向上させることができる。

[0084] また、不良検出装置３００でワイヤ１３の不良検出を行う際に、検査対象物の大きさ、形状に合わせて焦点領域３５のXY方向の位置を移動させなが

ら二次元吸引画像 7 1、7 2 を撮像するようにしてもよい。これにより、検査対象物が大きい場合や形状が複雑な場合でも超音波フェーズドアレイ 2 1 又はステージ 1 9 を移動させることなく検査対象物全体の不良を精度よく検出することができる。

[0085] 以上の説明では、半導体装置 1 0 に定在波 3 0 を印加する前に二次元静止画像 6 1、6 2 を撮像し、その後、定在波 3 0 を印加した状態で半導体装置 1 0 の二次元吸引画像 7 1、7 2 を撮像することとして説明したがこれに限らない。例えば、ワイヤ 1 3 に定在波 3 0 を印加した後に定在波 3 0 を停止するとワイヤ 1 3 の変形が元の状態、或いは、元の状態に近い状態に戻るような場合には、例えば、先に半導体装置 1 0 に定在波 3 0 を印加した状態で半導体装置 1 0 の二次元吸引画像 7 1、7 2 を撮像し、定在波 3 0 を停止した後に、二次元静止画像 6 1、6 2 を撮像してもよい。また、ワイヤ 1 3 の変形と超音波フェーズドアレイ 2 1、2 2 の出力に相関関係がある場合には、二次元静止画像 6 1、6 2 に代えて、第 1 状態よりも超音波フェーズドアレイ 2 1、2 2 の出力を小さくした低吸引状態である第 2 状態で二次元低吸引画像を撮像し、第 1 状態の二次元吸引画像 7 1、7 2 と比較して不良の検出を行ってもよい。また、二次元低吸引画像から三次元低吸引画像を生成して三次元吸引画像 7 3 と比較して不良の検出を行ってもよい。

符号の説明

[0086] 1 0 半導体装置、1 1 基板、1 1 a 表面、1 2 半導体素子、1 3 ワイヤ、1 4、1 5 電極、1 6 ボールボンド部、1 7、1 7 a ボールネック部、1 8、1 8 a ステッチボンド部、1 9 ステージ、1 9 a 上面、2 0、2 5、2 6 定在波発生器、2 1、2 2 超音波フェーズドアレイ、2 1 a、2 2 a 発生面、2 3 超音波振動子、2 4 反射板、2 4 a 反射面、3 0 定在波、3 1、3 2 節、3 3 腹、3 5、3 5 a 焦点領域、4 1、4 2 カメラ、5 0 制御部、5 1、5 6 CPU、5 2、5 7 メモリ、5 5 超音波フェーズドアレイコントローラ、6 1、6 2 二次元静止画像、6 3 三次元静止画像、7 1、7 2 二次元吸引画像、7

3 三次元吸引画像、100、200、300 不良検出装置。

請求の範囲

- [請求項1] 被接合物に接合物を接合した検査対象物の不良を検出する不良検出装置であって、
- 定在波を発生させ、発生させた前記定在波を前記検査対象物に印加して前記接合物に吸引力を付与する定在波発生器と、
- 前記検査対象物を撮像する撮像装置と、
- 前記定在波発生器の動作を調整すると共に前記検査対象物の不良の検出を行う制御部と、を備え、
- 前記制御部は、前記接合物に前記吸引力が付与された第1状態の前記検査対象物の第1画像と、前記第1状態よりも前記接合物に付与される前記吸引力が小さい第2状態の前記検査対象物の第2画像と、を前記撮像装置により撮像し、
- 前記第1状態の前記第1画像と前記第2状態の前記第2画像とを比較し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、
- 前記定在波発生器は、対向して配置される少なくとも1組の超音波発生器であること、
- を特徴とする不良検出装置。
- [請求項3] 請求項1に記載の不良検出装置であって、
- 前記定在波発生器は、超音波発生器と、前記超音波発生器と対向して配置される反射面と、で構成されること、
- を特徴とする不良検出装置。
- [請求項4] 請求項1から3のいずれか1項に記載の不良検出装置であって、
- 前記定在波発生器は、前記定在波の音圧の節の位置が前記検査対象物の直上となるように配置されていること、
- を特徴とする不良検出装置。
- [請求項5] 請求項2に記載の不良検出装置であって、

前記超音波発生器は、複数の超音波スピーカーまたは超音波振動子で構成される超音波フェーズドアレイであり、

1組の前記超音波フェーズドアレイの間に発生する前記定在波の焦点領域が前記検査対象物の直上となるように、各前記超音波スピーカーまたは各前記超音波振動子の発生する超音波の周波数と振幅と位相の内のいずれか1つまたは複数の設定されていること、

を特徴とする不良検出装置。

[請求項6]

請求項3に記載の不良検出装置であって、

前記超音波発生器は、複数の超音波スピーカーまたは超音波振動子で構成される超音波フェーズドアレイであり、

前記超音波フェーズドアレイと前記反射面との間に発生する前記定在波の焦点領域が前記検査対象物の直上となるように、各前記超音波スピーカーまたは各前記超音波振動子の発生する超音波の周波数と振幅と位相の内のいずれか1つまたは複数の設定されていること、

を特徴とする不良検出装置。

[請求項7]

請求項5または6に記載の不良検出装置であって、

前記被接合物を上面に吸着固定するステージを含み、

前記超音波フェーズドアレイは、前記ステージの前記上面に沿った方向に進行する超音波を発生させ、

前記定在波の前記焦点領域が前記検査対象物の前記接合物の直上となるように各前記超音波スピーカーまたは各前記超音波振動子の発生する超音波の周波数と振幅と位相の内のいずれか1つまたは複数の設定されていること、

を特徴とする不良検出装置。

[請求項8]

請求項3に記載の不良検出装置であって、

前記被接合物を上面に吸着固定するステージを含み、

前記反射面は、前記ステージの前記上面に吸着固定された前記被接合物の表面であり、

前記超音波発生器は、前記ステージの上方に配置され、前記超音波発生器と前記被接合物の前記表面との間に発生した前記定在波の音圧の節の位置が前記接合物の直上となる周波数の超音波を発生すること、

、

を特徴とする不良検出装置。

[請求項9] 請求項8に記載の不良検出装置であって、

前記超音波発生器は、複数の超音波スピーカーまたは超音波振動子で構成される超音波フェーズドアレイであること、

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、

前記検査対象物は、基板と、前記基板に取付けられた半導体素子と、前記半導体素子の電極と前記基板の電極とに接合されて各前記電極の間を接続するワイヤと、で構成される半導体装置であり、

前記検査対象物の前記被接合物は、前記基板と前記基板に取付けられた前記半導体素子であり、前記検査対象物の前記接合物は、前記ワイヤであること、

を特徴とする不良検出装置。

[請求項11] 被接合物に接合物を接合した検査対象物の不良を検出する不良検出方法であって、

定在波を発生させ、発生させた前記定在波を前記検査対象物に印加して前記接合物に吸引力を付与する定在波発生器と、前記検査対象物を撮像する撮像装置と、を備える不良検出装置を準備する工程と、

前記接合物に前記吸引力が付与された第1状態の前記検査対象物の第1画像を前記撮像装置により撮像する第1画像撮像工程と、

前記第1状態よりも前記接合物に付与される前記吸引力が小さい第2状態の前記検査対象物の第2画像を前記撮像装置により撮像する第2画像撮像工程と、

前記第1状態の前記第1画像と前記第2状態の前記第2画像とを比

較して前記検査対象物の不良の検出を行う不良検出工程と、を有すること、

を特徴とする不良検出方法。

[請求項12]

請求項 1 1 に記載の不良検出方法であって、

前記定在波の音圧の節の位置が前記検査対象物の直上となるように前記定在波発生器の前記検査対象物に対する相対位置を調整する位置調整工程を含むこと、

を特徴とする不良検出方法。

[請求項13]

請求項 1 1 に記載の不良検出方法であって、

前記定在波発生器は、複数の超音波スピーカーまたは超音波振動子で構成される超音波フェーズドアレイを対向配置して構成され、

前記超音波フェーズドアレイの間に発生する前記定在波の焦点領域が前記検査対象物の直上となるように、各前記超音波スピーカーまたは各前記超音波振動子の発生する超音波の周波数と振幅と位相の内のいずれか 1 つまたは複数を調整する焦点領域調整工程を含むこと、

を特徴とする不良検出方法。

[請求項14]

請求項 1 1 に記載の不良検出方法であって、

前記定在波発生器は、複数の超音波スピーカーまたは超音波振動子で構成される超音波フェーズドアレイと、前記超音波フェーズドアレイと対向して配置される反射面と、で構成され、

前記超音波フェーズドアレイと前記反射面との間に発生する前記定在波の焦点領域が前記検査対象物の直上となるように、各前記超音波スピーカーまたは各前記超音波振動子の発生する超音波の周波数と振幅と位相の内のいずれか 1 つまたは複数を調整する焦点領域調整工程を含むこと、

を特徴とする不良検出方法。

[請求項15]

請求項 1 3 または 1 4 に記載の不良検出方法であって、

前記不良検出装置は、前記被接合物を上面に吸着固定するステージ

を含み、

前記超音波フェーズドアレイは、前記ステージの前記上面に沿った方向に進行する超音波を発生させ、

前記焦点領域調整工程は、前記定在波の前記焦点領域が前記接合物の直上となるように各前記超音波スピーカーまたは各前記超音波振動子の発生する超音波の周波数と振幅と位相の内のいずれか1つまたは複数を調整すること、

を特徴とする不良検出方法。

[請求項16]

請求項11に記載の不良検出方法であって、

前記不良検出装置は、前記被接合物を上面に吸着固定するステージを含み、

前記定在波発生器は、前記ステージの前記上面に吸着固定された前記被接合物の表面と、複数の超音波スピーカーまたは超音波振動子で構成される超音波フェーズドアレイであって前記ステージの上方に前記ステージの前記上面と対向するように配置された超音波フェーズドアレイとで構成され、

各前記超音波スピーカーまたは各前記超音波振動子の発生する超音波の周波数と振幅と位相の内のいずれか1つまたは複数を調整して、前記超音波フェーズドアレイと前記被接合物の前記表面との間に発生する前記定在波の焦点領域の前記ステージの前記上面に沿った方向の位置を調整する焦点領域位置調整工程を含むこと、

を特徴とする不良検出方法。

[請求項17]

請求項11から16のいずれか1項に記載の不良検出方法であって、

前記検査対象物は、基板と、前記基板に取付けられた半導体素子と、前記半導体素子の電極と前記基板の電極とに接合されて各前記電極の間を接続するワイヤと、で構成される半導体装置であり、

前記検査対象物の前記被接合物は、前記基板と前記基板に取付けら

れた前記半導体素子であり、前記検査対象物の前記接合物は、前記ワイヤであること、
を特徴とする不良検出方法。