

明 細 書

発明の名称：

ワイヤボンディング方法及びワイヤボンディング装置

技術分野

[0001] 本発明は、ワイヤボンディング方法及びワイヤボンディング装置に関する。

背景技術

[0002] 従来、半導体装置の製造方法において、例えば半導体チップの電極と基板の電極との2点間をワイヤによって電氣的に接続するワイヤボンディングが広く用いられている。ワイヤボンディングにおいては、電気放電等によってボンディングツールの先端から延出されたワイヤの先端にボール部を形成し、ボンディングツールを半導体装置のボンド点に向かって下降させ、ボンド点上に配置したボール部をボンディングツールによって押圧するとともに超音波振動等を供給することによって両者を接合させる。

[0003] これに関し、特許文献1には、LSIのパッドと外部リード間を導体線で接続するワイヤボンダにおいて、ボンディング時にパッドおよびリードの高さを測定する機能を備え、測定したパッド、リードの高さおよび座標から、測定した箇所以外のパッドおよびリードの高さを計算により求め、適切なボンドレベルによりボンディングを行うボンドレベル自動調整機能付きワイヤボンダが記載されている。

先行技術文献

特許文献

[0004] 特許文献1：特開平6－181232号公報

発明の概要

発明が解決しようとする課題

[0005] しかしながら、ワイヤのボール部の直径が小さい場合や、ボンディング対象が傾斜してセットされて、ボンド点ごとに高さがばらついている場合等に

おいては、各ボンド点の高さを正確に測定できず、正確にボンディングを行うことができないおそれがある。

- [0006] 本発明は、このような事情に鑑みてなされたものであり、正確に、複数の電極をボンディングすることができるワイヤボンディング方法及びワイヤボンディング装置を提供することを目的の一つとする。

課題を解決するための手段

- [0007] 本発明の一態様にかかるワイヤボンディング方法は、ワイヤを挿通するよう構成されたボンディングツールと、第1の電極及び第2の電極を含むワークを固定して保持するボンディングステージと、を備えるワイヤボンディング装置を準備する工程と、ボンディングツールに挿通されたワイヤの先端にフリーエアーボールを形成するボール形成工程と、記フリーエアーボールが第1の電極に接地したか否かを検出することによって第1の電極の高さを測定する第1高さ測定工程と、フリーエアーボールが第2の電極に接地したか否かを検出することによって第2の電極の高さを測定する第2高さ測定工程と、第1高さ測定工程の測定結果に基づいてボンディングツールの高さを制御し、当該フリーエアーボールを第1の電極に接合する第1接合工程と、第2高さ測定工程の測定結果に基づいてボンディングツールの高さを制御し、ワイヤを第2の電極に接合して第1の電極と第2の電極とを接続する第2接合工程と、を含む。
- [0008] 上記ワイヤボンディング方法において、第1及び第2高さ測定工程は、ワイヤの先端のフリーエアーボールが第1及び第2の電極のそれぞれを押圧したときのフリーエアーボールに加わるボンディング荷重の変化に基づいて、ワイヤの先端のフリーエアーボールが第1及び第2の電極のそれぞれに接地したか否かを検出することを含んでもよい。
- [0009] 上記ワイヤボンディング方法において、第1及び第2高さ測定工程は、ワイヤの先端のフリーエアーボールが第1及び第2の電極のそれぞれに接触したときの、ボンディングツールに挿通されるワイヤに供給された電気信号の出力の変化に基づいて、ワイヤの先端のフリーエアーボールが第1及び第2

の電極のそれぞれに接地したか否かを検出することを含んでもよい。

[0010] 上記ワイヤボンディング方法において、所定の電気信号は直流電圧信号又は交流電圧信号であり、第1及び第2高さ測定工程は、ワイヤと第1及び第2の電極のそれぞれとの間の電位差の変化に基づいて、ワイヤの先端のフリーエアーボールが第1及び第2の電極に接地したか否かを検出することを含んでもよい。

[0011] 本発明の一態様にかかるワイヤボンディング装置は、ワイヤを挿通するよう構成されたボンディングツールと、第1の電極及び第2の電極を含むワークを固定して保持するボンディングステージと、フリーエアーボールが第1の電極に接地したか否かを検出することによって第1の電極の高さを測定する第1の高さ測定手段と、フリーエアーボールが第2の電極に接地したか否かを検出することによって第2の電極の高さを測定する第2の高さ測定手段と、第1高さ測定工程の測定結果に基づいてボンディングツールの高さを制御し、当該フリーエアーボールを第1の電極に接合する第1の接合手段と、第2高さ測定工程の測定結果に基づいてボンディングツールの高さを制御し、ワイヤを第2の電極に接合して第1の電極と第2の電極とを接続する第2の接合手段とを備える。

[0012] 上記ワイヤボンディング装置において、第1及び第2の高さ測定部は、フリーエアーボールが第1又は第2の電極を押圧したときのフリーエアーボールに加わるボンディング荷重の変化に基づいて、ワイヤの先端のフリーエアーボールが第1及び第2の電極のそれぞれに接地したか否かを検出してもよい。

[0013] 上記ワイヤボンディング装置において、第1及び第2の高さ測定部は、フリーエアーボールが第1又は第2の電極に接触したときの、ボンディングツールに挿通されるワイヤに供給された電気信号の出力の変化に基づいて、ワイヤの先端のフリーエアーボールが第1及び第2の電極のそれぞれに接地したか否かを検出してもよい。

[0014] 上記ワイヤボンディング装置において、所定の電気信号は交流電圧信号で

あり、高さ測定部は、ワイヤと第１及び第２の電極のそれぞれとの間の電位差の変化に基づいて、ワイヤの先端のフリーエアボールが第１及び第２の電極に接地したか否かを検出してもよい。

発明の効果

[0015] 本発明によれば、正確に、複数の電極をボンディングすることができる。

図面の簡単な説明

[0016] [図1]図１は、第１実施形態に係るワイヤボンディング装置を示した図である。

[図2]図２（Ａ）及び（Ｂ）は、第１実施形態に係るワイヤボンディング装置のボンディングアームの平面における頂面図及び底面図である。

[図3]図３（Ａ）～（Ｄ）は、第１実施形態に係るワイヤボンディングの動作を説明するための図である。

[図4]図４は、第１実施形態に係るワイヤボンディングの高さ測定処理の一例を示すフローチャートである。

[図5]図５（Ａ）～（Ｃ）は、第１実施形態に係るワイヤボンディングの高さ測定処理を説明するための図である。

[図6]図６は、第１実施形態に係るワイヤボンディングの高さ測定処理を説明するための図である。

[図7]図７は、第２実施形態に係るワイヤボンディングの高さ測定処理の一例を示すフローチャートである。

[図8]図８は、第２実施形態に係るワイヤボンディングの高さ測定処理を説明するための図である。

[図9]図９は、第３実施形態に係るワイヤボンディング装置の接地検出部の回路構成の一例を示す図である。

[図10]図１０は、第３実施形態に係るワイヤボンディング装置の接地検出部の回路構成の他の一例を示す図である。

[図11]図１１は、第３実施形態に係るワイヤボンディングの高さ測定処理の一例を示すフローチャートである。

[図12]図12は、第3実施形態に係るワイヤボンディングの高さ測定処理を説明するための図である。

[図13]図13は、他の実施形態に係るワイヤボンディング装置の構成の一例を示す図である。

発明を実施するための形態

[0017] 以下に本発明の実施の形態を説明する。以下の図面の記載において、同一又は類似の構成要素は同一又は類似の符号で表している。図面は例示であり、各部の寸法や形状は模式的なものであり、本願発明の技術的範囲を当該実施の形態に限定して解すべきではない。

[0018] <第1実施形態>

図1は、本実施形態に係るワイヤボンディング装置を示した図であり、図2は、ワイヤボンディング装置におけるボンディングアームの一部拡大図であり、図2(A)は、ボンディングアームの頂面図、図2(B)は、ボンディングアームの底面図である。

[0019] 図1に示すように、ワイヤボンディング装置1は、例示的に、XY駆動機構10と、Z駆動機構12と、ボンディングアーム20と、超音波ホーン30と、ボンディングツール40と、荷重センサ50と、ボンディング荷重検出部150と、超音波振動子60と、接地検出部70と、制御部80と、記録部130と、を備える。

[0020] XY駆動機構10はXY方向（ボンディング面に平行な方向）に摺動可能に構成されており、XY駆動機構（リニアモータ）10には、ボンディングアーム20をZ方向（ボンディング面に垂直な方向）に揺動可能なZ駆動機構（リニアモータ）12が設けられている。

[0021] ボンディングアーム20は、支軸14に支持され、XY駆動機構10に対して揺動自在に構成されている。ボンディングアーム20は、XY駆動機構10から、例えばリードフレームである基板120上に実装された半導体チップ110が置かれたボンディングステージ16に延出するように略直方体に形成されている。ボンディングアーム20は、XY駆動機構10に取り付

けられるアーム基端部 2 2 と、アーム基端部 2 2 の先端側に位置して超音波ホーン 3 0 が取り付けられるアーム先端部 2 4 と、アーム基端部 2 2 とアーム先端部 2 4 とを連結して可撓性を有する連結部 2 3 とを備える。この連結部 2 3 は、ボンディングアーム 2 0 の頂面 2 1 a から底面 2 1 b の方向へ延出した所定幅のスリット 2 5 a、2 5 b、及び、ボンディングアーム 2 0 の底面 2 1 b から頂面 2 1 a の方向へ延出した所定幅のスリット 2 5 c によって構成されている。このように、連結部 2 3 が各スリット 2 5 a、2 5 b、2 5 c によって局部的に薄肉部として構成されているため、アーム先端部 2 4 はアーム基端部 2 2 に対して撓むように構成されている。

[0022] 図 1 及び図 2 (B) に示すように、ボンディングアーム 2 0 の底面 2 1 b 側には、超音波ホーン 3 0 が収容される凹部 2 6 が形成されている。超音波ホーン 3 0 は、ボンディングアーム 2 0 の凹部 2 6 に収容された状態で、アーム先端部 2 4 にホーン固定ネジ 3 2 によって取り付けられている。この超音波ホーン 3 0 は、凹部 2 6 から突出した先端部においてボンディングツール 4 0 を保持しており、凹部 2 6 には超音波振動を発生する超音波振動子 6 0 が設けられている。超音波振動子 6 0 によって超音波振動が発生し、これが超音波ホーン 3 0 によってボンディングツール 4 0 に伝達され、ボンディングツール 4 0 を介してボンディング対象に超音波振動を付与することができる。超音波振動子 6 0、例えば、ピエゾ振動子である。

[0023] また、図 1 及び図 2 (A) に示すように、ボンディングアーム 2 0 の頂面 2 1 a 側には、頂面 2 1 a から底面 2 1 b に向かって順番にスリット 2 5 a 及び 2 5 b が形成されている。上部のスリット 2 5 a は、下部のスリット 2 5 b よりも幅広に形成されている。そして、この幅広に形成された上部のスリット 2 5 a に、荷重センサ 5 0 が設けられている。荷重センサ 5 0 は、予圧用ネジ 5 2 によってアーム先端部 2 4 に固定されている。荷重センサ 5 0 は、アーム基端部 2 2 とアーム先端部 2 4 との間に挟みこまれるように配置されている。すなわち、荷重センサ 5 0 は、超音波ホーン 3 0 の長手方向の中心軸からボンディング対象に対する接離方向にオフセットして、ボンディ

ングアーム 20 の回転中心とアーム先端部 24 における超音波ホーン 30 の取付面（すなわち、アーム先端部 24 におけるボンディングツール 40 側の先端面）との間に取り付けられている。そして、上記のように、ボンディングツール 40 を保持する超音波ホーン 30 がアーム先端部 24 に取り付けられているため、ボンディング対象からの反力によりボンディングツール 40 の先端に荷重が加わると、アーム基端部 22 に対してアーム先端部 24 が撓み、荷重センサ 50 において荷重を検出することが可能となっている。荷重センサ 50 は、例えば、 piezo 荷重センサである。

[0024] ボンディングツール 40 は、ワイヤ 42 を挿通するためのものであり、例えば挿通穴 41（図 5（A）参照）が設けられたキャピラリである。この場合、ボンディングツール 40 の挿通穴 41 にボンディングに使用するワイヤ 42 が挿通され、その先端からワイヤ 42 の一部を繰り出し可能に構成されている。また、ボンディングツール 40 の先端には、ワイヤ 42 を押圧するための押圧部 47（図 5（A）参照）が設けられている。押圧部 47 は、ボンディングツール 40 の挿通穴 41 の方向の周りに回転対称の形状を有しており、挿通穴 41 の周囲の下面に押圧面 48（図 5（A）参照）を有している。

[0025] ボンディングツール 40 は、超音波ホーン 30 自体の弾性変形によって交換可能に超音波ホーン 30 に取り付けられている。また、ボンディングツール 40 の上方には、ワイヤクランプ 44 が設けられ、ワイヤクランプ 44 は所定のタイミングでワイヤ 42 を拘束又は解放するよう構成されている。ワイヤクランプ 44 のさらに上方には、ワイヤテンシヨナ 46 が設けられ、ワイヤテンシヨナ 46 はワイヤ 42 を挿通し、ボンディング中のワイヤ 42 に適度なテンションを付与するよう構成されている。

[0026] ワイヤ 42 の材料は、加工の容易さと電気抵抗の低さなどから適宜選択され、例えば、金（Au）、銅（Cu）又は銀（Ag）等が用いられる。なお、ワイヤ 42 は、ボンディングツール 40 の先端から延出したフリーエアーボール 43 が半導体チップ 110 の電極 112 にボンディングされる。

- [0027] 接地検出部 70 は、ボンディングツール 40 に挿通されたワイヤ 42 の先端であるフリーエアボール 43 が、半導体チップ 110 の電極 112 に接地したか否かを電氣的に検出するものであり、ワイヤ 42 に供給された電気信号の出力に基づいてワイヤ 42 が電極 112 に接地したか否かを検出する。
- [0028] 接地検出部 70 は、例えば、ワーク 100 とワイヤ 42 との間に所定の電気信号を印加する電源部 72 と、電源部 72 によって供給された電気信号の出力を測定する出力測定部 74 と、出力測定部 74 の測定結果に基づいてワイヤ 42 がワーク 100 に接地したか否かを判定する判定部 76 とを備える。図 1 に示すように、接地検出部 70 は、一方端子がボンディングステージ 16 に電氣的に接続され、他方端子がワイヤクランプ 44（又はワイヤスプール（図 1 では省略））に電氣的に接続されている。
- [0029] 制御部 80 は、ボンディング処理のための制御を行うよう構成されており、例示的に、XY 駆動機構 10、Z 駆動機構 12、超音波ホーン 30（超音波振動子 60）、ボンディングツール 40、ボンディング荷重検出部 150（荷重センサ 50）、及び、接地検出部 70 等の各構成との間で直接的又は間接的に信号の送受信が可能なように接続されており、制御部 80 によってこれらの構成の動作を制御する。
- [0030] 制御部 80 は、例示的に、XYZ 軸制御部 82 と、ボンディングツール位置検出部 84 と、速度検出部 86 と、高さ測定部 88 と、ボンディング制御部 89 と、を備えて構成されている。
- [0031] XYZ 軸制御部 82 は、例えば、XY 駆動機構 10 及び Z 駆動機構 12 の少なくとも一方を制御することでボンディングアーム 20 やボンディングツール 40 の XYZ 方向の動作を制御する。
- [0032] ボンディングツール位置検出部 84 は、ボンディングツール 40 の Z 方向における位置を含むボンディングツール 40 の位置、例えばボンディングツール 40 の先端の位置を検出する。ボンディングツール 40 の先端位置は、例えばボンディングツール 40 自体の先端の位置、ボンディングツールに挿

通されるワイヤの先端の位置、又は、ボンディングツールに挿通されるワイヤの先端に形成されるフリーエアーボール４３の位置を含んでもよい。このようなボンディングツール位置検出部８４を設けることによって、ボンディングツール４０の移動前の位置（ボンディングツール４０の高さ）と、ボンディングツール４０の移動後の位置、例えばフリーエアーボール４３がボンディング対象に接地した場合のボンディングツール４０の位置（ボンディング対象の高さ）との間の距離を正確に測定することができる。

[0033] 速度検出部８６は、ボンディングツール４０の移動の速度を検出する。速度検出部８６は、例えば常時、ボンディングツール４０の移動の速度を検出してもよいし、定期的に、ボンディングツール４０の移動の速度を検出してもよい。

[0034] 高さ測定部８８は、例えば、ボンディングツール４０に挿通されるワイヤ４２の先端に形成されるフリーエアーボール４３が複数のボンディング対象に接地したか否かを検出することによって各ボンディング対象の高さを測定する。

[0035] ボンディング制御部８９は、例えば、高さ測定部８８の測定結果に基づいて、ボンディングツール４０の高さを制御し、ワイヤ４２の先端のフリーエアーボール４３を半導体チップ１１０の電極１１２に接合し、高さ測定部８８の測定結果に基づいてボンディングツール４０の高さを制御し、ワイヤ４２を基板１２０の電極１２２に接合して電極１１２と電極１２２とを接続する。

[0036] 制御部８０には、各種情報を記録する記録部１３０が接続されている。例えば、記録部１３０は、配置される複数の電極１１２、１２２のそれぞれの位置情報を記録する。記録部１３０は、ボンディングツール４０の先端位置情報、例えば、ボンディングツール４０が電極１１２、１２２に下降する場合の設置位置情報（図３に示す位置Ｐ１及びＰ３）を記録する。記録部１３０は、距離測定部８８が、フリーエアーボール４３がボンディング点に接地したと判定するためのボンディングツール４０の移動速度、又は、ボンディ

ングツール４０の移動速度の変化量を閾値として記録する。記録部１３０は、フリーエアボール４３が接地したか否かを判定するために参照する、予め設定された、荷重センサ５０の出力値を閾値として記録する。

[0037] また、制御部８０には、制御情報を入力するための操作部１３２と、制御情報を出力するための表示部１３４が接続されており、これにより作業者が表示部１３４によって画面を認識しながら操作部１３２によって必要な制御情報を入力することができるようになっている。なお、制御部８０は、ＣＰＵ及びメモリなどを備えるコンピュータ装置であり、メモリには予めワイヤボンディングに必要な処理を行うためのボンディングプログラムなどが格納される。制御部８０は、後述するワイヤボンディングの距離測定方法において説明するボンディングツール４０の動作を制御するための各工程を行うように構成されている（例えば各工程をコンピュータに実行させるためのプログラムを備える）。

[0038] 図３を参照して、本実施形態に係るワイヤボンディングの動作の全体像を説明する。このワイヤボンディングの動作は、少なくとも、上記ワイヤボンディング装置を用いて実施する、各電極１１２，１２２の高さを測定する高さ測定処理と、電極１１２，１２２とワイヤを用いてボンディングするワイヤボンディング処理と、を含む。

[0039] 図３（Ａ）～（Ｄ）は、複数の電極１１２，１２２をワイヤボンディングするための動作の一例を説明する概念図である。図３（Ａ）～（Ｃ）は、各電極１１２，１２２の高さを測定する高さ測定処理の一例を示しており、図３（Ｄ）は、複数の電極をワイヤボンディングするためのボンディング処理の一例を示している。

[0040] 図３（Ａ）に示すように、前提として、図１に示すように、ワイヤ４２を挿通するよう構成されたボンディングツール４０と、電極１１２（第１の電極）及び電極１２２（第２の電極）を含むワーク１００を固定して保持するボンディングステージ１６と、を備えるワイヤボンディング装置１を準備する。

- [0041] 電極 1 1 2 が形成された基板 1 2 0 と、基板 1 2 0 上に実装され、電極 1 2 2 が形成された半導体チップ 1 1 0 とを有するワーク 1 0 0 を準備し、ワーク 1 0 0 を図示しない搬送装置によりボンディングステージ 1 6 に搬送する。ボンディングステージ 1 6 は、ワーク 1 0 0 の下面を吸着するとともに、図示しないウインドクランプによりワーク 1 0 0 を固定して保持する。
- [0042] ここで、ワーク 1 0 0 は、本実施形態に係るワイヤボンディング方法によって、半導体チップ 1 1 0 の電極 1 1 2 にワイヤで電氣的に接続される第 1 ボンディング点 P 2 と、基板 1 2 0 の電極 1 2 2 に接続される第 2 ボンディング点 P 4 と、を有する。ここで、第 1 ボンディング点とは、ワイヤで接続する 2 点間のうちの最初にボンディングする箇所を指し、第 2 ボンディング点とは、後にボンディングする箇所を指す。
- [0043] なお、ワーク 1 0 0 の具体的態様は上記に限定されるものではなく、例えば複数の半導体チップを積み重ねたスタック構造を有するものの 2 点間の電極を電氣的に接続するものなど様々な態様があり得る。また、第 1 及び第 2 ボンディング対象は、それぞれ単一の電極である必要はなく、複数の電極を含んでもよい。
- [0044] ボンディングツール 4 0 に挿通されるワイヤ 4 2 の先端にフリーエアボール 4 3 を形成する。具体的には、ボンディングツール 4 0 から延出したワイヤ 4 2 の先端を所定の高電圧を印加したトーチ電極（不図示）に近づけて、当該ワイヤ 4 2 の先端とトーチ電極との間で放電を発生させる。こうして、金属ワイヤが溶融した表面張力によってワイヤ 4 2 の先端にフリーエアボール 4 3 を形成する。
- [0045] ボンディングツール 4 0 を予め設定された位置 P 1 から第 1 ボンディング点 P 2 に向かって下降させる場合、ワイヤボンディング装置 1 の高さ測定部 8 8 は、ボンディングツール 4 0 に挿通されるワイヤ 4 2 の先端に形成されるフリーエアボール 4 3 が電極 1 1 2 に接地したか否かを検出することによって電極 1 1 2 の高さを測定する。高さ測定部 8 8 がフリーエアボール 4 3 の電極 1 1 2 への接地を検出した場合、ボンディングツール 4 0 は、位

置P 1 に向かって上昇する。

[0046] なお、電極 1 1 2 の高さは、例えばボンディングステージ 1 6 等の所定の構成の高さに基づいて測定される高さを含んでもよいし、所定の基準高さに対する相対的な高さを含んでもよい。

[0047] 図 3 (B) に示すように、ボンディングツール 4 0 を、当該ボンディングツール 4 0 を位置 P 1 から位置 P 3 に配置されるように移動させる。

[0048] 図 3 (C) に示すように、ボンディングツール 4 0 を予め設定された位置 P 3 から第 2 ボンディング点 P 4 に向かって下降させる場合、高さ測定部 8 8 は、ボンディングツール 4 0 に挿通されるワイヤ 4 2 の先端に形成されるフリーエアーボール 4 3 が基板 1 2 0 の電極 1 2 2 に接地したか否かを検出することによって電極 1 2 2 の高さを測定する。高さ測定部 8 8 がフリーエアーボール 4 3 の電極 1 2 2 への接地を検出した場合、ボンディングツール 4 0 は、位置 P 3 に向かって上昇する。

[0049] なお、電極 1 2 2 の高さは、例えばボンディングステージ 1 6 等の所定の構成の高さに基づいて測定される高さを含んでもよいし、所定の基準高さに対する相対的な高さを含んでもよい。

[0050] そして、高さ測定処理が終了すると、ボンディングツール 4 0 は、位置 P 1 に戻りワイヤを電極 1 1 2, 1 2 2 にボンディングするためのボンディング処理を開始する。

[0051] 図 3 (D) に示すように、ワイヤボンディング装置 1 のボンディング制御部 8 9 は、例えば、高さ測定部 8 8 の測定結果と、ボンディングツール位置検出部 8 4 の検出結果と、に基づいて、電極 1 1 2 の第 1 ボンディング点 P 2 から電極 1 2 2 の第 2 ボンディング点 P 4 への移動の軌跡を算出する。そして、ボンディング制御部 8 9 は、当該移動の軌跡に基づいて、ワイヤ 4 2 の先端のフリーエアーボール 4 3 を電極 1 1 2 の第 1 ボンディング点 P 2 にボンディングし、ボンディングツール 4 0 の先端からワイヤ 4 2 を繰り出しながらボンディングツール 4 0 を電極 1 2 2 に向かって移動させ、ワイヤ 4 2 の一部を電極 1 2 2 の第 2 ボンディング点 P 4 にボンディングする。

- [0052] 具体的には、XY駆動機構10及びZ駆動機構12を適宜作動させることによってワイヤ42を繰り出しながらボンディングツール40を予め設定された軌跡に沿って移動させ、ワイヤ42を電極112の第1ボンディング点P2から電極122の第2ボンディング点P4に向かってルーピングさせる。これは、ボンディングツール40の先端に形成されたフリーエアーボール43を電極112の第1ボンディング点P2に第1ボンディングを行い、その後、XY駆動機構10及びZ駆動機構12を予め設定された軌跡にしたがい、第2ボンディング点P4までルーピングさせることにより、122電極122上でワイヤ42の一部を第2ボンディングする。このとき、第1ボンディング点P2におけるボンディングと同様に、後述する図5に示すボンディングツール40の押圧部47（押圧面48）によってワイヤ42の一部を加圧するとともに、熱及び／又は超音波振動等を作動させることによって、ワイヤ42の一部を第2ボンディング点P4に接合する。こうして、第2ボンディング点P4における第2ボンディングが終了し、第1ボンディング点P2と第2ボンディング点P4との間に両者を接続するワイヤループ90が形成される。第1ボンディング点P2上にはワイヤループ90の接合部92が設けられている。
- [0053] このようにして、第1ボンディング点P2と第2ボンディング点P4との間を接続するために所定形状に形成されたワイヤループ90を有するワークを製造することができる。
- [0054] また、ボンディングツール40を各第ボンディング点P2、P4に向けて下降させている間、ワイヤ42のフリーエアーボール43に超音波振動を供給することもできる。例えば、ワイヤ42のフリーエアーボール43が第1ボンディング点P2と非接触状態のときからボンディングツール40へ超音波振動を供給することによって、ワイヤ42のフリーエアーボール43が振動した状態で第1ボンディング点P2に接触し始めることになる。これによって、特に、ワイヤ42や第1ボンディング点P2が、例えば銅などの酸化しやすい材質場合、第1ボンディング点P2の表面及びフリーエアーボール

4 3 の表面に形成された酸化物等が振動による摩擦で除去され、第 1 ボンディング点 P 2 の表面及びフリーエアーボール 4 3 の表面にそれぞれ清浄面が露出する。こうして、第 1 ボンディング点 P 2 とフリーエアーボール 4 3 との間の接合状態が良好となり、ワイヤボンディングの特性を向上させることができる。

[0055] 以下では、ボンディング対象の高さを測定する高さ測定処理の詳細について説明する。

[0056] まず、第 1 実施形態の高さ測定処理を、図 4 ～図 6（図 3 も一部参照）を用いて説明する。図 4 は、高さ測定処理の一例を説明するためのフローチャートである。図 5（A）～（C）は、高さ測定処理を説明するための概念図である。図 6 は、ボンディングツールにおける Z 方向の位置について時刻の経過に伴う変化を示したものである。

[0057] 本実施形態の高さ処理においては、図 1 に示す高さ測定部 8 8 は、ワイヤ 4 2 の先端のフリーエアーボール 4 3 が電極 1 1 2 及び電極 1 2 2 のそれぞれを接触したときのボンディングツール 4 0 の移動の速度の変化に基づいて、フリーエアーボール 4 3 が電極 1 1 2，1 2 2 のそれぞれに接地したか否かを検出する。

[0058] （図 4 のステップ S 1）

図 3（A）に示すように、ボンディングツール 4 0 をこれからボンディングしようとする第 1 ボンディング対象としての電極 1 1 2 の上方の位置 P 1 に配置する。

[0059] （ステップ S 3）

図 3（A）に示すように、ボンディングツール 4 0 を電極 1 1 2 の第 1 ボンディング点 P 2 に向かって下降させる。例えば、図 6 に示すように、 $t_0 \sim t_1$ の間においてボンディングツール 4 0 を Z 方向に沿って速度 a で下降させる。

[0060] 次に、図 5（A）及び図 6 に示すように、時刻 t_1 において、ボンディングツール 4 0 の下降速度が速度 a から速度 b （速度 b は、速度 a よりも小さ

い)に変更する。つまり、ボンディングツール40において、第1ボンディング点P2に近づいているので、サーチ動作へ変更する。

[0061] (ステップS5)

図5(B)及び図6に示すように、時刻 t_2 において、フリーエアボール43が電極112に接触する。その後、フリーエアボール43が第1ボンディング点P2を押圧する場合、フリーエアボール43は、第1ボンディング点P2から反力を受け、ボンディングツール40の下降速度が速度 b から速度 c (速度 c は、速度 b よりも小さい)に減少する。

[0062] そして、例えば、高さ測定部88は、ワイヤ42の先端のフリーエアボール43が電極112を押圧したときのボンディングツール40の移動の速度 b から速度 c への速度の変化量($|b - c|$)に基づいて、フリーエアボール43が電極112に接地したか否かを検出する。具体的に、高さ測定部88は、ワイヤ42の先端のフリーエアボール43が電極112を押圧したときのボンディングツール40の移動の速度 b から速度 c への速度の変化量($|b - c|$)と、記録部130に記録されている閾値としての速度の変化量と、を比較し、速度の変化量($|b - c|$)が記録部130に記録されている速度の変化量より大きい場合に、フリーエアボール43が電極112に接地したと判定する。なお、高さ測定部88は、ワイヤ42の先端のフリーエアボール43が電極112を押圧したときのボンディングツール40の移動速度が所定の設定値(例えば、速度 c 等)に到達したことに基づいて、フリーエアボール43が電極112に接地したか否かを検出してもよい。

[0063] ここで、高さ測定部88によりフリーエアボール43の電極112への接地が検出された場合(図4のS6においてYes)は、ステップS7に進み、高さ測定部88によりフリーエアボール43の電極112への接地が検出されなかった場合(図4のS6においてNo)は、ステップS3に戻る。

[0064] (ステップS7)

図5に示すように、高さ測定部88は、フリーエアボール43が電極112に接地したか否かを検出することによって電極112の高さを測定する。高さ測定部88は、例えば、予め設定されているボンディングツール40の下降前の位置P1の高さと、フリーエアボール43が電極112に接地した場合のボンディングツール40の位置Z2に対応する高さHと、に基づいて、電極112の高さを測定する。なお、位置P1の高さ、及び、高さHのそれぞれは、ワーク100のボンディングステージ16、半導体チップ110、又は半導体チップ120の表面からの高さを含んでもよい。

[0065] その後、図5（C）及び図6に示すように、時刻 t_2 以降において、ボンディングツール40を位置Z2からさらに下降させると、フリーエアボールは速度 c で第1ボンディング点P2を押圧し、フリーエアボール45が示すように若干潰れたように変形し、ボンディングツール40の位置はZ3となる。

[0066] （ステップS9）

図3（A）及び図6に示すように、ボンディングツール40を、所定の速度で第1ボンディング点P2の上方の位置P1に移動させる。そして、図4において不図示であるが、図3（B）及び（C）に示すように、電極122の第2ボンディング点P4の高さを測定する高さ測定処理に進む。

[0067] 以上のとおり、第1実施形態によれば、フリーエアボール43が電極112に接地したか否かを検出することによって電極112の高さを測定し、フリーエアボール43が電極122に接地したか否かを検出することによって電極122の高さを測定し、電極112の高さの測定結果に基づいてボンディングツール40の高さを制御し、当該フリーエアボール43を電極112に接合し、電極122の高さの測定結果に基づいてボンディングツール40の高さを制御し、ワイヤ42を電極122に接合して電極112と電極122とを接続する。これによって、正確に、複数の電極をボンディングすることができる。

[0068] <第2実施形態>

第2実施形態は、高さ測定部88が、電極112、122にフリーエアボールが接地したときに印加されるボンディング荷重の変化に基づいて、ワイヤの先端のフリーエアボールが電極112、122に接地したか否かを検出する点で第1実施形態とは異なる。以下では、第1実施形態と異なる点について特に説明し、その他は省略する。

[0069] 図1に示すボンディング荷重検出部150は、例示的に、荷重センサ50の出力に接続された出力測定部152と、当該出力測定部152の結果に基づいて、ワイヤ42のフリーエアボール43がワーク100に接地したか否かを判定する判定部154と、を備える。

[0070] 判定部154は、例えば、荷重センサ50の出力が予め設定した閾値を超えたか否かによって、フリーエアボール43が接地したか否かを判定する。すなわち、ボンディングツール40が下降してワイヤ42のフリーエアボール43が電極112、122に接地すると、ボンディングツール40の先端が電極112、122から反力を受け、その荷重によって荷重センサ50の出力値が上昇する。そして、この出力値が所定の閾値を超えたとき、判定部154はフリーエアボール43が接地したと判定する。このように、ボンディング荷重検出部150は、ボンディングツール40の下降に伴ってボンディングツール40の先端に加えられる初期衝撃荷重に基づいて、ワイヤボンディング作業中にフリーエアボール43が接地したか否かを検出する。

[0071] 図7は、第2実施形態に係るワイヤボンディングの高さ測定処理の一例を示すフローチャートである。図8は、第2実施形態に係る荷重センサの出力と、ボンディングツールのZ方向の位置と、関係を示した図である。

[0072] (図7のステップS15)

図8に示すように、図1に示す高さ測定部88は、荷重センサ50の出力の変化に基づいて、ワイヤ42の先端のフリーエアボール43が電極112に接地したか否かを検出する。具体的に、高さ測定部88は、ワイヤ42の先端のフリーエアボール43が第1ボンディング点P2を押圧したとき

のフリーエアボール43に加わるボンディング荷重の変化に基づいて、ワイヤ42の先端のフリーエアボール43が電極112に接地したか否かを検出する。

[0073] (ステップS17)

図1に示す高さ測定部88は、フリーエアボール43が電極112に接地したか否かを検出することによって、第1ボンドレベル検出位置に対応するボンディングツール40のZ方向の位置に基づく電極112の高さを測定する。なお、図7において不図示だが、高さ測定部88は、電極112の高さを測定した後、フリーエアボール43が電極122に接地したか否かを検出することによって、第2ボンドレベル検出位置に対応するボンディングツール40のZ方向の位置に基づく電極122の高さを測定する。

[0074] 以上のとおり、第2実施形態によれば、第1実施形態の効果に加えて、高さ測定部88が、フリーエアボール43に加わるボンディング荷重の変化に基づいて、フリーエアボール43が電極112に接地したか否かを検出することによって電極112の高さを測定するので、より正確に、フリーエアボール43の電極112への接地を検出することができる。

[0075] <第3実施形態>

第3実施形態は、高さ測定部88が、電極112、122にフリーエアボールが接地したときにボンディングツールに挿通されるワイヤに供給された電気信号の出力の変化に基づいて、ワイヤの先端のフリーエアボールが電極112、122に接地したか否かを検出する点で、第1及び第2実施形態と異なる。以下では、第1及び第2実施形態と異なる点について特に説明し、その他は、省略する。

[0076] 図9は、本実施形態に係るワイヤボンディング装置の接地検出部の回路構成の一例を示す図である。図9に示すように、接地検出部70の電源部72は直流電圧電源で構成することができる。すなわち、ワイヤ42とボンディングステージ16とが電氣的抵抗成分のみで接続されているとみなされる場合（例えば両者が電氣的に導通している場合）、直流電圧信号を所定の電気

信号として用いることができる。すなわち、ワイヤ42のフリーエアボール43が電極112、122に接触することで、ボンディングステージ16とワイヤ42との間に電位差が生じる。したがって、かかる出力電圧 v の変化に基づいて、フリーエアボール43が電極112、122に接地したか否かを判定することができる。

[0077] 図10は、本実施形態に係るワイヤボンディング装置の接地検出部の回路構成の一例を示す図である。図10に示すように、接地検出部70の電源部72は交流電圧電源で構成することもできる。すなわち、ワーク100の電極112、122とボンディングステージ16との間が容量成分を含む場合（例えば両者が電氣的に導通していない場合）、交流電圧信号を所定の電気信号として用いることができる。この場合、ワイヤ42のフリーエアボール43が電極112、122に接触すると、ワイヤボンディング装置1の静電容量値に、ワーク100が有する静電容量値がさらに加算され、これによりボンディングステージ16とワイヤ42との間の静電容量値が変化する。したがって、かかる容量値の変化、例えば出力電圧 v の変化に基づいて、フリーエアボール43が電極112、122に接触したか否かを判定することができる。

[0078] 図11は、第3実施形態に係るワイヤボンディングの高さ測定処理の一例を示すフローチャートである。図12は、第3実施形態に係る接地検出部の検出電圧と、ボンディングツールのZ方向の位置と、関係を示した図である。

[0079] (ステップS25)

図8に示すように、高さ測定部88は、図1に示す接地検出部150の検出電圧に基づいて、ワイヤ42の先端のフリーエアボール43が電極112に接地したか否かを検出する。具体的に、高さ測定部88は、ワイヤ42の先端のフリーエアボール43が電極112の第1ボンディング点P2に接触したときの、ボンディングツール40に挿通されるワイヤ42に供給された電気信号の出力の変化に基づいて、ワイヤ42の先端のフリーエアボ

ール４３が電極１１２に接地したか否かを検出する。

[0080] (ステップＳ２７)

高さ測定部８８は、フリーエアボール４３が電極１１２に接地したか否かを検出することによって第１ボンドレベル検出位置に対応する電極１１２の高さを測定する。なお、図１１において不図示だが、高さ測定部８８は、電極１１２の高さを測定した後、フリーエアボール４３が電極１２２に接地したか否かを検出することによって、第２ボンドレベル検出位置に対応するボンディングツール４０のＺ方向の位置に基づく電極１２２の高さを測定する。

[0081] 以上のとおり、第３実施形態によれば、第１実施形態の効果に加えて、高さ測定部８８が、ワイヤ４２に供給された電気信号の出力の変化に基づいて、フリーエアボール４３が電極１１２に接地したか否かを検出するので、より迅速に且つ正確に、フリーエアボール４３の電極１１２への接地を検出することができる。

[0082] <他の実施形態>

上記発明の実施形態を通じて説明された実施例や応用例は、用途に応じて適宜に組み合わせて、又は変更若しくは改良を加えて用いることができ、本発明は上述した実施形態の記載に限定されるものではない。そのような組み合わせ又は変更若しくは改良を加えた形態も本発明の技術的範囲に含まれ得ることが、特許請求の範囲の記載から明らかである。

[0083] ワイヤボンディング装置において、速度検出部８６、接地検出部７０、荷重センサ５０、及びボンディング荷重検出部１５０を併用することで、第１～第３実施形態を適宜組み合わせて実施可能である。他方、ワイヤボンディング装置において、速度検出部８６、接地検出部７０、荷重センサ５０、及びボンディング荷重検出部１５０の全てを必ずしも備える必要はない。例えば、上記第１実施形態においては、ワイヤボンディング装置は、速度検出部８６を備える必要はあるが、接地検出部７０、荷重センサ５０、及びボンディング荷重検出部１５０は必ずしも備える必要はない。上記第２実施形態に

おいては、ワイヤボンディング装置は、荷重センサ５０及びボンディング荷重検出部１５０を備える必要はあるが、速度検出部８６及び接地検出部７０は必ずしも備える必要はない。上記第３実施形態においては、ワイヤボンディング装置は、接地検出部７０を備える必要はあるが、速度検出部８６、荷重センサ５０、及びボンディング荷重検出部１５０は必ずしも備える必要はない。

[0084] 上記実施形態においては、ワイヤボンディング方法の一例として、異なる位置に配置された複数のボンディング対象の間をワイヤ接続する態様について説明したが、複数のボンディング対象が配置される高さは、それぞれ異なってもよいし、複数のボンディング対象のうち少なくとも二つが同一の高さであってもよい。

[0085] なお、第１ボンディング点Ｐ１を基板１２０の電極１２２とする、いわゆる逆ボンディングに本発明を適用してもよい。

[0086] 図１３は、他のワイヤボンディング方法を説明する図である。図１３に示すように、単一のワイヤによりワイヤループ９０を形成しつつ、複数のチップ（又は基板）１１０、１２０、１６０、１７０、１８０、１９０のそれぞれに配置された複数の電極１１２、１２２、１６２、１７２、１８２、１９２を接続する、いわゆるチェーンループに本発明を適用してもよい。

符号の説明

[0087] １…ワイヤボンディング装置、３０…超音波ホーン、４０…ボンディングツール、４２…ワイヤ、４３（１４３）…フリーエアボール、７０…接地検出部、８０…制御部、１５０…ボンディング荷重検出部