

明 細 書

発明の名称：

ワイヤボンディング装置、ワイヤ切断方法及びプログラム

技術分野

[0001] 本発明は、ワイヤボンディング装置、ワイヤ切断方法及びプログラムに関する。

背景技術

[0002] 従来、第1ボンド点（例えば半導体ダイのパッド）と第2ボンド点（例えばパッケージのリード）とをワイヤで電氣的に接続するワイヤボンディング装置が知られている。ワイヤボンディング装置のボンディングの条件によっては、ワイヤテールの下端と第2ボンド点である電極パッドとの接続部分であるボンディング端部の形状が細くなっていることがある。この場合、クランプでワイヤを把持してワイヤテールを引っ張り上げると、ワイヤテールに大きな張力が付与されるため、ワイヤテールが引き伸ばされた状態となる。その後、さらにワイヤテールを引っ張り上げた後に、ワイヤテールがボンディング端部で切断される。このとき、引き伸ばされたワイヤテールが切断時の反力で跳ね上がる。これにより、クランプの下部におけるワイヤ及びワイヤテールがS字状に曲がる。曲がったワイヤテールによって、次の電極パッドへのボンディングの際に、放電などによるボール形成の不良を引き起こす虞がある。そこで、ワイヤテールに曲がりを生じさせないワイヤテールの切断方法が提案されている。

先行技術文献

特許文献

[0003] 特許文献1：特許第2723277号公報

発明の概要

発明が解決しようとする課題

[0004] 特許文献1に開示されているワイヤボンディング方法は、ボンディングを

した後にキャピラリをボンディング位置から斜め上方に上昇させることで、キャピラリの先端に導出されているワイヤテールが曲がらないようにしている。しかし、当該ワイヤボンディング方法では、テールワイヤの下端と電極パッドとの接続部分であるボンディング端部が十分細くない場合、ワイヤテールの切断時にワイヤに大きな引張り力がかかる。この場合、当該ワイヤボンディング方法では、ワイヤテールの切断時の反力でワイヤが跳ね上がり、クランプの下部のワイヤ及びワイヤテールがS字状に曲がる虞がある。

[0005] そこで、本発明はこのような事情に鑑みてなされたものであり、ワイヤテールに大きな引張り力をかけずに切断し、ワイヤテールを切断したときのワイヤの曲がりを防止することを目的とする。

課題を解決するための手段

[0006] 本発明の一態様に係るワイヤボンディング装置は、ワイヤボンディング処理を行うワイヤボンディング装置であって、ワイヤを挿通するボンディングツールと、超音波ホーンを介して前記ボンディングツールに超音波振動を供給する超音波振動子と、前記ボンディングツールを移動させる駆動機構と、前記ワイヤボンディング処理を制御する制御部と、を備え、前記制御部は、前記ボンディングツールでワイヤを押圧することによって、ボンディング対象であるボンド点にワイヤをボンディングするボンディング工程と、前記ボンド点にボンディングされたワイヤからワイヤテールを繰り出すテール繰出工程と、ワイヤをクランプした状態で、前記ボンディングツールを上昇させて、ワイヤにテンションを付与するテンション付与工程と、前記ボンディングツールを下降させて、ワイヤに付与されたテンションを解放するテンション解放工程と、前記テンション付与工程及び前記テンション解放工程を含む一連の工程を少なくとも1回実行した後、前記ボンディングツールを上昇させて、前記ボンド点にボンディングされたワイヤから前記ワイヤテールを切断するテールカット工程と、実行する。

[0007] 本発明の一態様に係るワイヤ切断方法は、ワイヤボンディング処理を行う

ワイヤボンディング装置を用いて実行されるワイヤ切断方法であって、前記ワイヤボンディング装置は、ワイヤを挿通するボンディングツールと、超音波ホーンを介して前記ボンディングツールに超音波振動を供給する超音波振動子と、前記ボンディングツールを移動させる駆動機構と、前記ワイヤボンディング処理を制御する制御部と、を備え、前記ワイヤ切断方法は、前記ボンディングツールでワイヤを押圧することによって、ボンディング対象である第1 ボンド点にワイヤをボンディングするボンディング工程と、前記ボンド点にボンディングされたワイヤからワイヤテールを繰り出すテール繰出工程と、ワイヤをクランプした状態で、前記ボンディングツールを上昇させて、ワイヤにテンションを付与するテンション付与工程と、前記ボンディングツールを下降させて、ワイヤに付与されたテンションを解放するテンション解放工程と、前記テンション付与工程及び前記テンション解放工程を含む一連の工程を少なくとも1回実行した後、前記ボンディングツールを上昇させて、前記ボンド点にボンディングされたワイヤから前記ワイヤテールを切断するテールカット工程と、を実行する。

[0008] 本発明の一態様に係るプログラムは、ワイヤボンディング装置にワイヤボンディング処理を実行させるプログラムであって、前記ワイヤボンディング装置は、ワイヤを挿通するボンディングツールと、超音波ホーンを介して前記ボンディングツールに超音波振動を供給する超音波振動子と、前記ボンディングツールを移動させる駆動機構と、前記ワイヤボンディング処理を制御する制御部と、を備え、前記プログラムは、前記ワイヤボンディング装置に、前記ボンディングツールでワイヤを押圧することによって、ボンディング対象であるボンド点にワイヤをボンディングするボンディングステップと、前記ボンド点にボンディングされたワイヤからワイヤテールを繰り出すテール繰出ステップと、ワイヤをクランプした状態で、前記ボンディングツールを上昇させて、ワイヤにテンションを付与するテンション付与ステップと、前記ボンディングツールを下降させて、ワイヤに付与されたテンションを解放するテンション解放ステップと、前記テンション付与ステップ及び前記テ

ンション解放ステップを含む一連のステップを少なくとも1回実行した後、前記ボンディングツールを上昇させて、前記ボンド点にボンディングされたワイヤから前記ワイヤテールを切断するテールカットステップと、を実行させる。

発明の効果

[0009] 本発明によれば、ワイヤテールに大きな引張り力をかけずに切断し、ワイヤテール切断の際のワイヤの曲がりを防止することができる。

図面の簡単な説明

- [0010] [図1]本実施形態に係るワイヤボンディング装置の一例を示す図である。
- [図2A]ボンディングアームの頂面図である。
- [図2B]ボンディングアームの底面図である。
- [図3]検出部の概要の一例を示す図である。
- [図4]検出部の概要の他の例を示す図である。
- [図5]ワイヤボンディング方法の一例を示すフローチャートである。
- [図6A]ボール部を形成する動作の一例を示す図である。
- [図6B]ボール部を電極パッドに接触させる動作の一例を示す図である。
- [図6C]リバース動作の一例を示す図である。
- [図6D]ワイヤループ工程の動作の一例を示す図である。
- [図6E]ワイヤの一部を電極パッドに押圧する動作の一例を示す図である。
- [図6F]ワイヤを繰り出す動作の一例を示す図である。
- [図6G]クランプを閉じる動作の一例を示す図である。
- [図6H]第1テンション付与工程の動作の一例を示す図である。
- [図6I]第1テンション解放工程の動作の一例を示す図である。
- [図6J]第2テンション付与工程の動作の一例を示す図である。
- [図6K]第2テンション解放工程の動作の一例を示す図である。
- [図6L]ワイヤテールを切断した状態の一例を示す図である。
- [図7]各工程を示すタイミングチャートの一例である。
- [図8]テンション付与工程及びテンション解放工程の詳細のタイミングチャー

トの一例である。

[図9]テンション付与工程及びテンション解放工程の詳細のタイミングチャートの他の例である。

[図10]ワイヤボンディング方法の他の例を示す図である。

発明を実施するための形態

[0011] 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るべきではない。

[0012] [ワイヤボンディング装置 1 の構成]

図 1 ～図 4 を参照して、ワイヤボンディング装置 1 について説明する。図 1 は、本実施形態に係るワイヤボンディング装置 1 の一例を示す図である。図 2 A は、ボンディングアーム 20 の頂面図である。図 2 B は、ボンディングアーム 20 の底面図である。図 3 は、検出部 70 の概要の一例を示す図である。図 4 は、検出部 70 の概要の他の例を示す図である。

[0013] 図 1 に示すように、ワイヤボンディング装置 1 は、例えば、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、超音波振動子 60 と、検出部 70 と、制御部 80 と、ボンディングツール位置検出部 90 とを含む。

[0014] XY 駆動機構 10 は、例えば、XY 軸方向（ボンディング面に平行な方向）に移動可能に構成されている。XY 駆動機構 10 には、例えば、ボンディングアーム 20 を Z 軸方向（ボンディング面に垂直な方向）に移動可能な Z 駆動機構 12 が設けられている。

[0015] 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、ボンディングの対象である半導体装置 100 が置かれたボンディングステージ 16 に向かって延出するよう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 22 と、アーム基端部 22 の先端側（－Y 方向側）に位置して超音波ホーン 30 が取り付けられるアーム先端部 24 と、アーム基端部 22 とアーム先端部 24 とを連結して可撓性を有する連結部 23 とを含む。この連結部 23 は、例えば、ボンディングアーム 20 の頂面 21 a から底面 21 b に向かって延出した所定幅のスリット 25 a、25 b、及び、ボンディングアーム 20 の底面 21 b から頂面 21 a の方向に向かって延出した所定幅のスリット 25 c によって構成されている。このように、連結部 23 が各スリット 25 a、25 b、25 c によって局部的に薄肉部として構成されることで、アーム先端部 24 はアーム基端部 22 に対して撓むことができる。

[0016] 図 1 及び図 2 B に示すように、ボンディングアーム 20 の底面 21 b 側には、超音波ホーン 30 が収容される凹部 26 が形成されている。超音波ホーン 30 は、ボンディングアーム 20 の凹部 26 に収容された状態で、アーム先端部 24 にホーン固定ネジ 32 によって取り付けられている。この超音波ホーン 30 は、凹部 26 から突出した先端部においてボンディングツール 40 を保持しており、凹部 26 には超音波振動を発生する超音波振動子 60 が設けられている。超音波振動子 60 によって超音波振動が発生し、これが超音波ホーン 30 によってボンディングツール 40 に伝達される。これにより、超音波振動子 60 は、ボンディングツール 40 を介してボンディングの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 60 は、例えば piezo 振動子である。

[0017] また、図 1 及び図 2 A に示すように、ボンディングアーム 20 の頂面 21 a 側には、頂面 21 a から底面 21 b に向かって順番にスリット 25 a 及び 25 b が形成されている。上部のスリット 25 a は、下部のスリット 25 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 25 a に、荷重センサ 50 が設けられている。荷重センサ 50 は、予圧用ネジ 52 によってアーム先端部 24 に固定されている。荷重センサ 50 は、アーム基端部 22 とアーム先端部 24 との間に挟み込まれるように配置され

ている。すなわち、荷重センサ50は、超音波ホーン30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、ボンディングの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、例えばピエゾ荷重センサである。

[0018] 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が設けられたキャピラリである。ボンディングツール40は、その挿通穴41にボンディングに使用するワイヤ42が挿通される。ボンディングツール40は、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。以下、便宜上、ボンディングツール40の先端から繰り出されたワイヤ42をワイヤテール42aという。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40aが設けられている。押圧部40aは、ボンディングツール40の挿通穴41の軸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を有している。ボンディングツール40は、バネ力など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。

[0019] クランパ44は、例えば、ボンディングツール40の上方に設けられ、ボンディングツール40とともに動作する。クランパ44は、例えば、クランパ制御部81から出力される制御信号に基づいて、所定のタイミングでワイヤ42を把持（拘束）又は解放するよう構成されている。クランパ44のさらに上方には、ワイヤテンショナ（不図示）が設けられていてもよい。ワイヤテンショナは、例えば、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。

- [0020] 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）、アルミニウム（Al）、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ボール部43を形成する。ボール部43は、所定のボンド点（例えば電極パッド112であり、以下、第1ボンド点という）にボンディングされる。
- [0021] 検出部70は、例えば、ボンディングツール40に挿通されたワイヤ42の先端に形成されるボール部43が、ボンディングの対象である半導体装置100に接地されているか否かを電氣的に検出する。また、検出部70は、例えば、ワイヤ42に供給された電気信号の出力に基づいて、ワイヤテール42aが半導体装置100の所定のボンド点（例えば、電極パッド122であり、以下、第2ボンド点という）から切断されたか否かを検出する。
- [0022] 検出部70は、例えば、電源部71と、出力測定部72と、判定部73とを備える。電源部71は、例えば、半導体装置100とワイヤ42との間に所定の電気信号を印加する。出力測定部72は、例えば、電源部71によって供給された電気信号の出力を測定する。判定部73は、例えば、出力測定部72の測定結果に基づいて、ワイヤ42が半導体装置100に電氣的に接触したか否かを判定する。図1に示すように、検出部70は、一方の端子がボンディングステージ16に電氣的に接続され、他方の端子がクランプ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。
- [0023] 図3に示すように、検出部70は、その電源部71が直流電圧電源で構成されていてもよい。すなわち、検出部70は、半導体装置100のボンド点とボンディングステージ16とが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。この場合、ワイヤ42のボール部43が半導体装置100のボンド点に接触すると、ボンディングステージ16とワイヤ42との間に電氣的短絡が生じる。検出部70は、この電氣的短絡の有無の変化（例えば出力電圧 v の変化）に基づいて、ボール部43が半導体

装置 100 の第 2 ボンド点である電極パッド 122 に接触したか否かを判定することができる。換言すると、検出部 70 は、ワイヤテール 42a が半導体装置 100 の第 2 ボンド点から切断されたか否かを検出することができる。

[0024] 図 4 に示すように、検出部 70 は、その電源部 71 が交流電圧電源で構成されていてもよい。すなわち、半導体装置 100 のボンド点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 のボール部 43 が半導体装置 100 のボンド点に接触すると、ワイヤボンディング装置 1 の容量値に、半導体装置 100 が有する容量値がさらに加算される。これにより、ボンディングステージ 16 とワイヤ 42 との間の容量値が変化する。したがって、検出部 70 は、この容量値の変化（例えば出力電圧 v の変化）に基づいて、ボール部 43 が半導体装置 100 の第 2 ボンド点に接触したか否かを判定することができる。換言すると、検出部 70 は、ワイヤテール 42a が半導体装置 100 の第 2 ボンド点から切断されたか否かを検出することができる。

[0025] 図 1 に戻り、ボンディングツール位置検出部 90 は、例えば、ボンディングツール 40 の Z 軸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位置検出部 90 は、検出した結果に関する情報（以下、検出結果情報という）を、制御部 80 に出力する。

[0026] 制御部 80 は、例えば、クランパ制御部 81 と、XYZ 軸制御部 82 とを含む。クランパ制御部 81 は、クランパ 44 の開閉動作を制御する。XYZ 軸制御部 82 は、ボンディングツール 40 における X 軸方向、Y 軸方向、及び Z 軸方向の動作を制御する。

[0027] 制御部 80 は、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）、クランパ 44、荷重センサ 50、検出部 70 及びボンディングツール位置検出部 90 などの各構成との間で信号の送受信が可能に

なるよう接続されている。制御部80は、これらの構成の動作を制御することにより、ワイヤボンディングにおいて、ワイヤテール42aに曲がりを生じさせないように、ワイヤテール42aを切断する処理を実行できる。

[0028] 制御部80は、ボンディングツール位置検出部90から出力される検出結果情報に基づいて、ボンディングツール40をZ軸方向に上昇および下降させる。制御部80は、第2ボンド点にワイヤ42をボンディングした後に、ボンディングツール40をZ軸方向に上昇させることにより、ワイヤ42にテンションを付与する（以下、テンション付与工程という）。すなわち、制御部80は、ワイヤテール42aと第2ボンド点との接続部分に応力を加える。その後、制御部80は、ボンディングツール40をZ軸方向に下降させることにより、ワイヤ42に付与されているテンションを解放する（以下、テンション解放工程という）。すなわち、制御部80は、ワイヤテール42aと第2ボンド点との接続部分の応力を解放する。

[0029] 制御部80は、例えば、予め設定された上昇に関する情報（以下、上昇情報という）に基づき、テンション付与工程において、ボンディングツール40の先端の上昇の移動方向及び高さを決定する。同様に、制御部80は、例えば、予め設定された下降に関する情報（以下、下降情報という）に基づき、テンション解放工程において、ボンディングツール40の先端の下降の移動方向及び高さを決定する。ここで、ボンディングツール40の先端の高さとは、所定の基準地点からの距離をいい、所定の基準地点は特に限定されず、例えば第2ボンド点であってもよい。なお、上記において、制御部80は、上昇情報又は下降情報に基づき、ボンディングツール40の先端の高さを決定していると説明したが、これに限定されない。例えば、制御部80は、上昇情報又は下降情報に基づいて、ボンディングツール40の先端の移動距離を決定してもよい。具体的には、一例として、制御部80は、テンション付与工程では第2ボンド点からZ軸方向に上昇する移動距離を決定してもよいし、テンション解放工程ではテンション付与工程で上昇した終点からZ軸方向に下降する移動距離を決定してもよい。以下、便宜上、ボンディングツ

ール40の先端の、上昇の高さ又は移動距離を「上昇の移動量」といい、下降の高さ又は移動距離を「下降の移動量」ということもある。

[0030] ここで、上昇の移動方向とは、例えば、第2ボンド点から遠ざかる方向であり、Z軸方向であることが望ましい。下降の移動方向とは、例えば、第2ボンド点に近づく方向であり、上昇の移動方向に沿った方向であることが望ましい。ただし、上昇の移動方向及び下降の移動方向をZ軸方向に対して角度をもたせた場合、ワイヤテール42aの下端にX軸方向又はY軸方向の応力を付与できる。これにより、小さい引張り力で、後述するようにワイヤテール42aを切断できる。ここで、上昇の移動方向の始点は、例えば、第2ボンド点であってもよいし、第2ボンド点に対してXY平面でズレた点であってもよい。これにより、ワイヤテール42aの下端にX軸方向又はY軸方向の応力を付与できるため、小さい引張り力で、後述するようにワイヤテール42aを切断できる。また、下降の移動方向の始点は、例えばテンション付与工程の終点であってもよい。以下、便宜上、制御部80において、上昇の移動方向および下降の移動方向がZ軸方向に設定され、始めの上昇の移動方向の始点が第2ボンド点に設定され、始めの下降の移動方向の始点がテンション付与工程の終点に設定されていることとして説明する。

[0031] また、制御部80は、例えば、ワイヤ42の太さに基づき、テンション付与工程及びテンション解放工程における高さ又は移動距離（移動量）を、自動的に設定してもよい。具体的には、制御部80は、例えば、ワイヤ42の太さに対する所定の割合（例えば、60%）を、上昇の移動量として設定してもよい。制御部80は、ワイヤ42の太さに対する所定の割合（例えば、30%）を、下降の移動量として設定してもよい。また、制御部80は、例えば、上昇情報に基づき、テンション解放工程における下降の移動量を、自動的に設定してもよい。具体的には、制御部80は、上昇の移動量に対する所定の割合（例えば、50%）を、下降の移動量として設定してもよい。さらに言うと、制御部80は、例えば、ワイヤ42の太さに加えて、ワイヤ42の材質に基づき、テンション付与工程の上昇の移動量及びテンション解放

工程の下降の移動量を、自動的に設定してもよい。具体的には、制御部80は、例えば、ワイヤ42の材質が固い材質であるほど、上昇の移動量を大きく設定し、下降の移動量を小さく設定してもよい。これは、ワイヤ42の強度が強いほど、大きなテンションを付与しても曲げ変形を生じないためである。これにより、作業者の設定にかかる作業量を減らすことができる。

[0032] また、制御部80は、例えば、テンション付与工程における上昇の移動量がテンション解放工程における下降の移動量よりも大きくなるよう設定する。そして、制御部80は、例えば、テンション付与工程およびテンション解放工程を複数回繰り返すことが望ましい。すなわち、制御部80は、例えば、今回のテンション付与工程（後述する第2テンション付与工程）におけるボンディングツール40の先端の高さが、前回のテンション付与工程（後述する第1テンション付与工程）におけるボンディングツール40の先端の高さよりも高くなるよう設定している。これにより、制御部80は、テンション付与工程およびテンション解放工程を繰り返すことにより、ワイヤテール42aの下端（-Z軸方向の端部）と、第2ボンド点に接続されたワイヤ42が細く押しつぶされた形状の端部（以下、ボンディング端部42cという）との間の部分に、徐々に金属疲労を生じさせる。つまり、ワイヤテール42aの下端とボンディング端部42cとの間の部分における引っ張り強度が低下する。これにより、当該部分に大きな引っ張り力をかける必要なく、ワイヤテール42aを第2ボンド点から切断できる。換言すると、ワイヤテール42aと第2ボンド点との接続部分を徐々に薄くして、切断時点では小さい引っ張り力でワイヤテール42aを切断できる。これにより、ワイヤテール42aに曲げ変形を生じさせず、ボンディング品質の向上を図ることができる。

[0033] また、制御部80は、例えば、検出部70においてワイヤテール42aが半導体装置100の第2ボンド点から切断されたことを検知したことを契機に、テンション付与工程及びテンション解放工程を含む一連の工程を停止させる。これにより、テンション付与工程およびテンション解放工程を最小限

の回数で実行できるため、ワイヤテール42aの切断工程の時間を短くできる。また、テンション付与工程およびテンション解放工程の回数の設定が不要となるため、作業者の作業量を減らすことができる。

[0034] 制御部80には、例えば、制御するための情報（以下、制御情報という）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とが接続されている。作業者は、表示部134で画面を確認して、操作部132で制御情報（上昇情報や下降情報など）を入力する。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実行するための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）。

[0035] [ワイヤボンディング方法]

次に、図5～図8を参照して、ワイヤボンディング方法について説明する。ワイヤボンディング方法は、ワイヤボンディング装置1によるワイヤボンディング方法を用いた方法である。図5は、ワイヤボンディング方法の一例を示すフローチャートである。図6A～図6Lは、各工程の動作の一例を示す図である。図7は、各工程を示すタイミングチャートである。図6A～図6Lの時刻t1～t9は、図7の時刻t1～t9に対応する。図8は、テンション付与工程及びテンション解放工程の詳細の一例を示すタイミングチャートである。

[0036] ステップS10（時刻t1）において、図6Aに示すように、ワイヤボンディング装置1は、ボンディングツール40の先端から延び出るワイヤ42の先端部にボール部43を形成させる。ステップS10において、クランプ44は例えば開いた状態である。

[0037] ステップS11（時刻t1）において、ワイヤボンディング装置1は、ボンディングツール40を半導体ダイ110の電極パッド112に向かって下

降させる。ステップS 1 1において、クランプ4 4は例えば閉じた状態である。

[0038] ステップS 1 2（時刻 t_2 ）において、図6 Bに示すように、ワイヤボンディング装置1は、ボール部4 3を電極パッド1 1 2に接触させる。そして、ワイヤボンディング装置1は、クランプ4 4を開いた状態にして、超音波振動をON制御する（第1ボンディング工程）。これにより、ボール部4 3が電極パッド1 1 2にボンディングされる。ワイヤボンディング装置1は、ボンディングツール4 0の先端をZ軸方向に上昇させつつ、当該先端からワイヤ4 2を繰り出す。ステップS 1 2において、検出部7 0は電気信号を検知する。このとき、クランプ4 4は開いた状態である。

[0039] ステップS 1 3（時刻 t_3 ）において、図6 Cに示すように、ワイヤボンディング装置1は、第2ボンド点（ここでは、電極パッド1 2 2）とは反対側（図6 Cの「矢印」の方向）にワイヤ4 2を動作させる（リバース動作）。これにより、ワイヤ4 2は屈曲形状を呈する。

[0040] ステップS 1 4（時刻 t_4 ）において、図6 Dに示すように、ワイヤボンディング装置1は、第2ボンド点に向かってワイヤ4 2を屈曲させながら、ワイヤ4 2のワイヤループを形成させる（ワイヤループ工程）。そして、ワイヤボンディング装置1は、ワイヤ4 2の一部を電極パッド1 2 2の上面に接触させる。これにより、第1ボンド点である電極パッド1 1 2と、第2ボンド点である電極パッド1 2 2とを電氣的に接続するワイヤループ（不図示）を形成する。ステップS 1 4において、クランプ4 4は閉じた状態である。

[0041] ステップS 1 5（時刻 t_5 ）において、図6 Eに示すように、ワイヤボンディング装置1は、ボンディングツール4 0の押圧部4 0 aによって、ワイヤ4 2の一部を電極パッド1 2 2に押圧する。ワイヤボンディング装置1は、超音波振動をON制御して、ワイヤ4 2の一部を電極パッド1 2 2にボンディングする（第2ボンディング工程）。このとき、電極パッド1 2 2に接続されたワイヤ4 2の端部に、細く押しつぶされた形状のボンディング端部

4 2 c が形成される。

[0042] 時刻 t_6 において、図 6 F に示すように、ワイヤボンディング装置 1 は、ボンディングツール 4 0 の先端を Z 軸方向に上昇させて、当該先端からワイヤテール 4 2 a を繰り出す（テール繰出工程）。このとき、クランプ 4 4 は開いた状態である。ボンディングツール位置検出部 9 0 は、ボンディングツール 4 0 の先端の高さを検出し、その高さを示す情報（以下、高さ情報という）を制御部 8 0 に出力する。

[0043] また、時刻 t_6 において、制御部 8 0 は、ボンディングツール 4 0 の高さが高さ H_1 を示す高さ情報を取得すると、XYZ 軸制御部 8 2 により Z 駆動機構 1 2 を制御させて、ボンディングツール 4 0 の動作を停止させる。このとき、図 6 F に示すように、ボンディングツール 4 0 の先端の高さが高さ H_1 となり、ボンディングツール 4 0 の先端からワイヤテール 4 2 a が導出している。

[0044] 時刻 t_7 において、図 6 G に示すように、ワイヤボンディング装置 1 は、クランプ 4 4 を閉じてワイヤ 4 2 を把持する。クランプ 4 4 を閉じた状態で、時刻 t_8 において、ワイヤボンディング装置 1 は、テンション付与工程及びテンション解放工程を実行する。図 7 に示すように、ワイヤボンディング装置 1 は、例えば、テンション付与工程及びテンション解放工程において、超音波振動を ON 制御する。以下、図 8 も参照しつつ、時刻 t_8 におけるテンション付与工程及びテンション解放工程について説明する。

[0045] ステップ S 1 6（図 8 の時刻 t_{81} ）において、図 6 H に示すように、ワイヤボンディング装置 1 は、クランプ 4 4 でワイヤ 4 2 を把持しながら、クランプ 4 4 とともにボンディングツール 4 0 の先端を、Z 軸方向に所定の高さ（ここでは、高さ $H_1 + D_1$ ）まで上昇させる（以下、第 1 テンション付与工程という）。換言すると、ボンディングツール 4 0 の先端を所定の移動距離（ここでは、移動距離 D_1 ）上昇させる。これにより、ワイヤボンディング装置 1 は、ボンディング端部 4 2 c に Z 軸方向にテンションを付与することができる。このとき、制御部 8 0 は、例えば、ボンディングツール 4 0

の先端の高さが高さ $H1 + D1$ を示す高さ情報を取得すると、XYZ軸制御部82によりZ駆動機構12を制御して、ボンディングツール40（クランプ44）の動作を停止させる。

[0046] ステップS17（図8の時刻 $t82$ ）において、図6Iに示すように、ワイヤボンディング装置1は、ワイヤテール42aをZ軸方向に所定の高さ（ここでは、高さ $H1 + D1 - D2$ ）まで下降させる（以下、第1テンション解放工程という）。換言すると、ボンディングツール40の先端を所定の移動距離（ここでは、移動距離 $D2$ ）下降させる。これにより、ワイヤボンディング装置1は、ボンディング端部42cにかかるテンションを解放することができる。このとき、制御部80は、例えば、ボンディングツール40の先端の高さが高さ $H1 + D1 - D2$ を示す高さ情報を取得すると、XYZ軸制御部82によりZ駆動機構12を制御して、ボンディングツール40（クランプ44）の動作を停止させる。

[0047] ステップS18において、ワイヤボンディング装置1は、例えば、第1テンション付与工程及び第1テンション解除工程に対する、次のテンション付与工程（以下、第2テンション付与工程という）及びテンション解放工程（以下、第2テンション解放工程という）それぞれのボンディングツール40の高さ又は移動距離を示す移動量を設定する。ワイヤボンディング装置1は、例えば、所定の記憶部に記憶されている移動量に関する情報（上昇情報、下降情報など）に基づいて、各工程の移動量を設定する。

[0048] ここで、ワイヤボンディング装置1は、例えば、第1テンション付与工程の高さよりも高い高さを、第2テンション付与工程の高さに設定する。同様に、ワイヤボンディング装置1は、例えば、第1テンション解放工程の高さよりも高い高さを、第2テンション解放工程の高さに設定する。また、ワイヤボンディング装置1は、例えば、第1テンション付与工程の移動距離及び第1テンション解放工程の移動距離と同一の移動距離を、第2テンション付与工程の移動距離及び第2テンション解放工程の移動距離に設定してもよい。ここで、「同一の移動距離」とは、例えば、二つの移動距離においてワイ

ワイヤボンディング装置 1 の機械的な誤差を許容する移動距離をいう。

- [0049] ステップ S 1 9 (図 8 の時刻 t_{83}) において、図 6 J に示すように、ワイヤボンディング装置 1 は、第 2 テンション付与工程において、クランプ 4 4 でワイヤ 4 2 を把持しながら、クランプ 4 4 とともにボンディングツール 4 0 の先端を、Z 軸方向に所定の高さ (ここでは、高さ $H_1 + 2D_1 - D_2$) まで上昇させる。換言すると、ボンディングツール 4 0 の先端を、第 1 テンション解放工程の終点 (ここでは、高さ $H_1 + D_1 - D_2$) を始点として、所定の移動距離 (ここでは、移動距離 D_1) 上昇させる。これにより、ワイヤボンディング装置 1 は、ボンディング端部 4 2 c に Z 軸方向にテンションを付与することができる。このとき、制御部 8 0 は、例えば、ボンディングツール 4 0 の先端の高さが高さ $H_1 + 2D_1 - D_2$ を示す高さ情報を取得すると、XYZ 軸制御部 8 2 により Z 駆動機構 1 2 を制御して、ボンディングツール 4 0 (クランプ 4 4) の動作を停止させる。
- [0050] ステップ S 2 0 (図 8 の時刻 t_{84}) において、図 6 K に示すように、ワイヤボンディング装置 1 は、第 2 テンション解放工程において、ワイヤテール 4 2 a を Z 軸方向に所定の高さ (ここでは、高さ $H_1 + 2D_1 - 2D_2$) まで下降させる。換言すると、ボンディングツール 4 0 の先端を、第 2 テンション付与工程の終点 (ここでは、高さ $H_1 + 2D_1 - D_2$) を始点として、所定の移動距離 (ここでは、移動距離 D_2) 下降させる。これにより、ワイヤボンディング装置 1 は、ボンディング端部 4 2 c にかかるテンションを解放することができる。このとき、制御部 8 0 は、例えば、ボンディングツール 4 0 の先端の高さが高さ $H_1 + 2D_1 - 2D_2$ を示す高さ情報を取得すると、XYZ 軸制御部 8 2 により Z 駆動機構 1 2 を制御して、ボンディングツール 4 0 (クランプ 4 4) の動作を停止させる。
- [0051] ステップ S 2 1 において、ワイヤボンディング装置 1 は、ワイヤテール 4 2 a が切断されたか否かを判定する。具体的には、ワイヤボンディング装置 1 は、検出部 7 0 において電気信号が検知されなかった場合、ワイヤテール 4 2 a が切断されたと判定する (ステップ S 2 1 : YES)。この場合、ワ

ワイヤボンディング装置 1 は、ワイヤテール 4 2 a を切断するための処理を終了させる。一方、ワイヤボンディング装置 1 は、検出部 7 0 において電気信号が検知された場合、ワイヤテール 4 2 a が切断されていないと判定する（ステップ S 2 1 : N O）。この場合、ワイヤボンディング装置 1 は、処理をステップ S 1 8 に移行する。

[0052] また、上記では、時刻 t_{81} ～時刻 t_{84} に示すように、第 1, 第 2 テンション付与工程及び第 1, 第 2 テンション解放工程のみ説明したが、図 8 の時刻 t_{85} , t_{86} に示すように、検出部 7 0 において電気信号が検知されなくなるまで、テンション付与工程及びテンション解放工程を繰り返す。

[0053] このように、テンション付与工程及びテンション解放工程を繰り返すことで、図 8 に示すように、複数回のテンション付与工程により段階的にワイヤテール 4 2 a にテンションをかけて、ワイヤテール 4 2 a に過大なテンションがかからないよう、ボンディングツール 4 0 を動作させることができる。これにより、ワイヤテール 4 2 a とボンド点との接続部分（ここでは、ボンディング端部 4 2 c）を徐々に薄くして、切断時点において小さい引っ張り力でワイヤテール 4 2 a を切断できる。

[0054] 図 6 L に示すように、ワイヤボンディング装置 1 は、ワイヤテール 4 2 a が切断された場合、図 7 に示す「電気信号」のグラフ（OFF）に示すように、検出部 7 0 において電気信号が検知されないと判定して、テンション付与工程及びテンション解除工程を終了する。

[0055] [変形例]

上記において、ワイヤボンディング装置 1 は、図 8 に示すように、第 1 テンション付与工程の移動距離及び第 1 テンション解放工程の移動距離と同一の移動距離を設定した動作について説明したが、これに限定されない。図 9 は、テンション付与工程及びテンション解放工程の他の例を示すタイミングチャートである。図 9 に示すように、ワイヤボンディング装置 1 は、例えば、第 2 テンション付与工程の高さ（図 9 では高さ $H + D$ ）が第 1 テンション付与工程の高さ（図 9 では高さ H ）よりも高くなるよう設定されていればよ

い。すなわち、第2テンション解除工程の高さが第1テンション解除工程の高さと同一であってもよい。さらに言うと、第2テンション解除工程の高さ及び第1テンション解除工程の高さは、第2ボンド点と略同一の高さであってもよい。これにより、テンション解除工程における下降の移動量に対する処理が簡素化されるため、システムの処理速度が向上する。

[0056] 上記において、ワイヤボンディング方法の一例として、ボンディング対象の2点間をワイヤ接続するワイヤボンディングについて説明したが、これに限定されない。例えば、上記の実施形態を、図10に示すバンプボンディングにおいて、半導体装置200のボンド点である電極212上にバンプ140を形成する方法に適用してもよい。この場合、図5のフローチャートからステップS10乃至ステップS14の工程を省略して実現することができる。また、例えば、上記の実施形態を、ウェッジボンディングに適用してもよい。この場合、図5のフローチャートからステップS10の工程を省略して実現することができる。

[0057] 上記において、ワイヤボンディング装置1は、第2テンション解放工程（ステップS20）の後に、ワイヤテール42aが切断されたか否かを判定することとして説明したが、これに限定されない。ワイヤボンディング装置1は、第2テンション付与工程（ステップS19）の後に、ワイヤテール42aが切断されたか否かを判定してもよいし、常にワイヤテール42aが切断されたか否かを判定してもよい。これにより、遅滞なくワイヤテール42aが切断したか否かを判定できるため、ワイヤボンディング装置1のワイヤテール42aの切断にかかる動作を減らすことができる。

[0058] 上記において、ワイヤボンディング装置1は、テンション解放工程においてクランプ44が閉じているとして説明したが、これに限定されない。テンション解放工程において、クランプ44が開いていてもよい。これにより、ワイヤ42のテンションを解放する動作が容易になる。

[0059] 上記発明の実施形態を通じて説明された実施の態様は、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。

符号の説明

[0060] 1…ワイヤボンディング装置、12…Z駆動機構、40…ボンディングツール、42…ワイヤ、42a…ワイヤテール、44…クランプ、60…超音波振動子、80…制御部。