

明 細 書

発明の名称：

ワイヤクランプ装置のキャリブレーション方法及びワイヤボンディング装置

技術分野

[0001] 本発明は、ワイヤクランプ装置のキャリブレーション方法及びワイヤボンディング装置に関する。

背景技術

[0002] 半導体ダイのパッドとパッケージのリードとを電氣的に接続するワイヤボンディング装置では、ワイヤを挿通するボンディングツールの上方にワイヤクランプ装置が設けられている。例えば特許文献1乃至3には、ワイヤをクランプするための先端部を有する一对のアーム部と、当該一对のアーム部を開閉させる圧電素子が設けられた駆動部とを備えるワイヤクランプ装置が開示されている。このワイヤクランプ装置によれば、圧電素子に印加する電圧値に応じて一对のアーム部の先端部の間の距離が制御される。かかる制御に基づいて、アーム部を閉じることによってワイヤを拘束し、又は、アーム部を開くことによってワイヤを解放することができる。

先行技術文献

特許文献

[0003] 特許文献1：特許第3005783号公報

特許文献2：特許第3005784号公報

特許文献3：特許第4842354号公報

発明の概要

発明が解決しようとする課題

[0004] しかしながら、従来においては、圧電素子を駆動するための駆動電圧に対してアーム部の開き量を正確に把握することが困難であった。とりわけ、ワ

ワイヤクランプ装置は、圧電素子などの構成要素の経時的変化又は温度変化や、ワイヤボンディング装置本体への取り付け時におけるトルクの違いなどの様々な要因によって、アーム部の開き量の絶対値が変動し得る。アーム部の開き量にばらつきがあると、高精度にかつ安定してワイヤを拘束又は解放することができない場合があることから、かかる問題を解消することはワイヤボンディングの信頼性向上にとって重要である。

[0005] 本発明はこのような事情に鑑みてなされたものであり、ワイヤクランプ装置の開閉動作の精度向上及び安定化を図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クランプ装置のキャリブレーション方法は、ワイヤクランプ装置のキャリブレーション方法であって、ワイヤをクランプするための先端部を有し先端部から基端部に向かって延在する一对のアーム部と、一对のアーム部の基端部に結合され、駆動電圧により一对のアーム部の先端部を開閉させる駆動用ピエゾ素子が設けられた駆動部とを備えるワイヤクランプ装置を用意する工程と、一对のアーム部を開閉方向に振動させる所定の周波数を印加して駆動用ピエゾ素子を駆動させる工程と、一对のアーム部が開閉方向に振動しているときの駆動用ピエゾ素子から出力される出力電流に基づいて、一对のアーム部の先端部が衝突したか否かを検出する工程と、検出結果に基づいて、一对のアーム部における閉状態の基準電圧を算出する工程と、基準電圧に基づいて、駆動用ピエゾ素子に印加する駆動電圧をキャリブレーションする工程とを含む。

[0007] 上記構成によれば、所定の周波数を印加して駆動用ピエゾ素子を駆動させ、一对のアーム部が開閉方向に振動しているときの駆動用ピエゾ素子から出力される出力電流に基づいて、一对のアーム部の先端部同士が衝突したか否かを検出し、この検出結果に基づいて基準電圧を算出してキャリブレーションする。これにより、一对のアーム部の開き量を簡単かつ正確に調整することができ、ワイヤクランプ装置の開閉動作の精度向上及び安定化を図ることができる。したがって、正確かつ安定したワイヤボンディングを行うこ

とができる。

- [0008] 上記方法において、検出する工程は、出力電流をフーリエ変換することによって一対のアーム部における先端部が衝突したときの振動周波数の強度を検出することを含んでもよい。
- [0009] 上記方法において、基準電圧を算出する工程は、一対のアーム部が閉じ終わるときの閉状態を示す第1基準電圧と、一対のアーム部が開き始めるときの閉状態を示す第2基準電圧との少なくとも1つを算出することを含んでもよい。
- [0010] 上記方法において、検出する工程は、一対のアーム部の先端部の間にワイヤを挟んだ状態で一対のアーム部の先端部がワイヤに衝突したか否かを検出することを含んでもよい。
- [0011] 上記方法において、ワイヤを挟んだ状態の検出結果に基づいて、一対のアーム部における開き量を算出する工程をさらに含み、キャリブレーションする工程において、一対のアーム部における開き量に基づいて、駆動用ピエゾ素子に印加する駆動電圧をキャリブレーションしてもよい。
- [0012] 上記方法において、駆動させる工程は、一対のアーム部に対する共振周波数を印加することを含んでもよい。
- [0013] 本発明の一態様に係る他のワイヤクランプ装置は、ワイヤをクランプするための先端部を有し当該先端部から基端部に向かって延在する一対のアーム部と、一対のアーム部の基端部に結合され、駆動電圧により一対のアーム部の先端部を開閉させる駆動用ピエゾ素子が設けられた駆動部とを備えるワイヤクランプ装置と、一対のアーム部を開閉方向に振動させる所定の周波数を印加して駆動用ピエゾ素子を駆動させる駆動電圧供給部と、一対のアーム部が開閉方向に振動しているときの駆動用ピエゾ素子から出力される出力電流に基づいて、一対のアーム部の先端部が衝突したか否かを検出する衝突検出部と、衝突検出部の検出結果に基づいて、一対のアーム部における閉状態の基準電圧を算出する電圧算出部と、基準電圧に基づいて、駆動用ピエゾ素子に印加する駆動電圧をキャリブレーションする電圧キャリブレーション部と

を備えている。

[0014] 上記構成によれば、所定の周波数を印加して駆動用ピエゾ素子を駆動させ、一对のアーム部が開閉方向に振動しているときの駆動用ピエゾ素子から出力される出力電流に基づいて、一对のアーム部の先端部同士が衝突したか否かを検出し、この検出結果に基づいて基準電圧を算出してキャリブレーションする。これにより、一对のアーム部の開き量を簡単かつ正確に調整することができ、ワイヤクランプ装置の開閉動作の精度向上及び安定化を図ることができる。したがって、正確かつ安定したワイヤボンディングを行うことができる。

[0015] 上記装置において、衝突検出部は、出力電流をフーリエ変換することによって一对のアーム部における先端部が衝突したときの振動周波数の強度を検出してもよい。

[0016] 上記装置において、電圧算出部は、一对のアーム部が閉じ終わるときの閉状態を示す第1基準電圧と、一对のアーム部が開き始めるときの閉状態を示す第2基準電圧との少なくとも1つを算出してもよい。

[0017] 上記装置において、衝突検出部は、一对のアーム部の先端部の間にワイヤを挟んだ状態で一对のアーム部の先端部がワイヤに衝突したか否かを検出してもよい。

[0018] 上記装置において、電圧算出部は、衝突検出部におけるワイヤを挟んだ状態の検出結果に基づいて、一对のアーム部における開き量を算出し、電圧キャリブレーション部は、一对のアーム部における開き量に基づいて、駆動用ピエゾ素子に印加する駆動電圧をキャリブレーションしてもよい。

[0019] 上記装置において、駆動電圧供給部は、一对のアーム部に対する共振周波数を印加してもよい。

発明の効果

[0020] 本発明によれば、ワイヤクランプ装置の開閉動作の精度向上及び安定化を図ることができる。

図面の簡単な説明

[0021] [図1]図 1 は、本発明の実施形態に係るワイヤボンディング装置の全体概要を示す図である。

[図2]図 2 A 及び図 2 B は、図 1 のワイヤボンディング装置のうちボンディングアームの頂面図及び底面図である。

[図3]図 3 は、図 1 のワイヤクランプ装置の斜視図である。

[図4]図 4 は、本発明の実施形態に係るワイヤクランプ装置のキャリブレーション方法を示すフローチャートである。

[図5]図 5 は、駆動電圧とアーム部の開き量との関係を示したものである。

[図6]図 6 は、駆動用ピエゾ素子に印加する入力電圧の一例を示したものである。

[図7]図 7 は、アーム部の先端部が衝突していないときの駆動用ピエゾ素子からの出力電流の波形を示す図である。

[図8]図 8 は、図 7 の出力電流をフーリエ変換した波形を示す図である。

[図9]図 9 は、アーム部の先端部が衝突したときの駆動用ピエゾ素子からの出力電流の波形を示す図である。

[図10]図 10 は、図 9 の出力電流をフーリエ変換した波形を示す図である。

[図11]図 11 は、アーム部が閉じ終わるときの閉状態を示す第 1 基準電圧（ V_{R1} ）を算出する一例を示したものである。

[図12]図 12 は、アーム部が開き始めるときの閉状態を示す第 2 基準電圧（ V_{R2} ）を算出する一例を示したものである。

発明を実施するための形態

[0022] 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。

[0023] 図 1 は、本実施形態に係るワイヤボンディング装置の全体概略を示した図である。また、図 2 A 及び図 2 B 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 がボンディングアームの頂面図

を示し、図2Bがボンディングアームの底面図を示すものである。図3は図1のワイヤクランプ装置の斜視図である。

[0024] 図1に示すように、ワイヤボンディング装置1は、XY駆動機構10、Z駆動機構12、ボンディングアーム20、超音波ホーン30、ボンディングツール40、荷重センサ50、超音波振動子60、ワイヤクランプ装置70及びワイヤボンディング制御部90を備える。

[0025] XY駆動機構10はXY軸方向（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軸方向（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。

[0026] 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、ボンディング対象であるワーク（例えば半導体ダイ又は基板）18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。支軸14は、例えば、ワーク18の作業面（ボンディング面）と略同じ高さにある。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とを備える。この連結部23は、ボンディングアーム20の頂面21aから底面21bの方向へ延出した所定幅のスリット25a、25b、及び、ボンディングアーム20の底面21bから頂面21aの方向へ延出した所定幅のスリット25c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25a、25b、25c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24はアーム基端部22に対して撓むように構成されている。

[0027] 図1及び図2Bに示すように、ボンディングアーム20の底面21b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、ボンディングツール 40 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 60 は、例えば、 piezo 振動子である。

[0028] 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 との間に挟みこ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 素子荷重センサである。

[0029] 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。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が設けられている。押圧部は、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。

[0030] ボンディングツール４０は、バネ力等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、ワイヤクランプ装置７０が設けられ、ワイヤクランプ装置７０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。ワイヤクランプ装置７０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。

[0031] 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がワーク１８の第１ボンド点にボンディングされる。

[0032] ここで、図３を参照して、本実施形態に係るワイヤクランプ装置７０の詳細について説明する。ワイヤクランプ装置７０は、一对のアーム部７２ａ，７２ｂと、ワイヤボンディング装置１の本体に取り付けられる駆動部７６とを備える。一对のアーム部７２ａ，７２ｂは、ワイヤ４２をクランプするための先端部７３ａ，７３ｂと、基端部７４ａ，７４ｂとを有し、先端部７３ａ，７３ｂから基端部７４ａ，７４ｂに向かってワイヤ軸方向と略直交する方向に延在している。先端部７３ａ，７３ｂにおける互いに対向する面には、ワイヤ４２が接触されるクランプ片７１ａ，７１ｂが設けられている。また、駆動部７６には、一对のアーム部７２ａ，７２ｂの先端部７３ａ，７３ｂを開閉させる駆動用ピエゾ素子８０が設けられている。駆動用ピエゾ素子８０は、ワイヤボンディング制御部９０（具体的には駆動電圧供給部９０ａ）から駆動電圧が供給されることによって一对のアーム部７２ａ，７２ｂの開閉動作が制御される。駆動部７６における一对のアーム部７２ａ，７２ｂ

とは反対側の端部は、ワイヤボンディング装置 1 の本体に固定されている。
なお、図 1 において、ワイヤクランプ装置 70 は、一对のアーム部 72 a, 72 b の延在方向を先端部 73 a, 73 b 側から見た状態が示されている。

[0033] 一对のアーム部 72 a, 72 b は、その基端部 74 a, 74 b において、複数の連結部 77 a, 77 b, 78 a, 78 b を介して駆動部 76 に連結されている。具体的には、一对のアーム部 72 a, 72 b をワイヤ軸方向の上方から見たとき、一对の連結部 78 a, 78 b は、一对のアーム部 72 a, 72 b の両外側に設けられ、また、一对の連結部 77 a, 77 b は、一对の連結部 78 a, 78 b に挟まれた位置に設けられている。これらの連結部は、弾性変形可能なくびれ部として構成されている。また、一对の連結部 77 a, 77 b は作用部 79 によって互いに連結されている。このような構成において、駆動用ピエゾ素子 80 が駆動部 76 と作用部 79 との間にその両端部が固定された状態で設けられている。駆動電圧を印加することにより駆動用ピエゾ素子 80 が一对のアーム部 72 a, 72 b の延在方向に伸縮することによって、各連結部 77 a, 77 b, 78 a, 78 b が、一对のアーム部 72 a, 72 b の先端部 73 a, 73 b を開閉させるように弾性変形する。
なお、各連結部 77 a, 77 b, 78 a, 78 b は先端部 73 a, 73 b が閉じる方向にばね性を有している。

[0034] 駆動用ピエゾ素子 80 は、例えば、駆動部 76 と作用部 79 との間を結ぶ方向に複数層のピエゾ素子が積層された積層型圧電アクチュエータである。

[0035] 一对のアーム部 72 a, 72 b (クランプ片 71 a, 71 b、先端部 73 a, 73 b 及び基端部 74 a, 74 b) は、例えば導電性材料によって構成されている。

[0036] 次にワイヤクランプ装置 70 の動作について説明する。駆動用ピエゾ素子 80 に電圧を印加しない状態では、一对のアーム部 72 a, 72 b の先端部 73 a, 73 b は閉じる方向に所定の荷重が加わっている。そして、駆動用ピエゾ素子 80 に駆動電圧を印加すると、電歪又は磁歪効果により駆動用ピエゾ素子 80 は一对のアーム部 72 a, 72 b の延在方向 (言い換えれば、

駆動部 7 6 と作用部 7 9 との間を結ぶ方向) に伸び、これにより作用部 7 9 が一対のアーム部 7 2 a, 7 2 b の方向へ移動させられ、こうして連結部 7 7 a, 7 7 b, 7 8 a, 7 8 b が外側方向にたわみ、先端部 7 3 a, 7 3 b は開いた状態となる。このときの先端部 7 3 a, 7 3 b の移動量 (すなわちアーム部の開き量) は、作用部 7 9 から連結部までの長さで連結部から先端部 7 3 a, 7 3 b までの長さの比に応じて、駆動用ピエゾ素子 8 0 の伸び量が拡大されたものに相当する。

[0037] さらに詳述すると、駆動用ピエゾ素子 8 0 に印加される駆動電圧をゼロの状態から増加させると、先端部 7 3 a, 7 3 b によるワイヤクランプ荷重は、駆動用ピエゾ素子 8 0 に印加される電圧値に比例して小さくなり、電圧値が基準電圧値となったとき先端部 7 3 a, 7 3 b のクランプ片 7 1 a, 7 1 b が、ワイヤクランプ荷重がゼロの状態に互いに接触した状態 (閉状態) となる。さらに電圧値を増加させると、先端部 7 3 a, 7 3 b は互いに離れる方向に開いた状態となる。

[0038] 図 1 に戻り、本実施形態に係るワイヤボンディング装置 1 についてさらに説明する。ワイヤボンディング制御部 9 0 は、X Y 駆動機構 1 0、Z 駆動機構 1 2、超音波ホーン 3 0 (超音波振動子 6 0)、荷重センサ 5 0 及びワイヤクランプ装置 7 0 などの各構成との間で信号の送受信が可能のように接続されており、ワイヤボンディング制御部 9 0 によって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のための必要な処理を行うことができるようになっている。

[0039] また、ワイヤボンディング制御部 9 0 には、制御情報を入力するための操作部 9 2 と、制御情報を出力するための表示部 9 4 が接続されている。これにより作業者が表示部 9 4 によって画面を認識しながら操作部 9 2 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、ワイヤボンディング制御部 9 0 は、C P U 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や、ワイヤボンディング制御部 9 0 における後述する各

構成要素が処理した各種データなどが格納される。ワイヤボンディング制御部 90 は、後述するワイヤクランプ装置のキャリブレーションを行うにあたって必要な動作を制御するように構成されている（例えば各動作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）。

[0040] 本実施形態に係るワイヤボンディング制御部 90 は、駆動電圧供給部 90 a と、衝突検出部 90 b と、電圧算出部 90 c と、電圧キャリブレーション部 90 d とを備える。

[0041] 駆動電圧供給部 90 a は、駆動用ピエゾ素子 80 に駆動電圧を供給する。具体的には、駆動電圧供給部 90 a は、ワイヤボンディング処理において、駆動用ピエゾ素子 80 に駆動電圧として直流電圧を供給し、ワイヤクランプ装置 70 のキャリブレーション処理において、駆動用ピエゾ素子 80 に駆動電圧として所定の周波数を印加した脈流（直流成分及び交流成分を含む。）を供給する。駆動用ピエゾ素子 80 に脈流を供給することによって、直流成分によって一对のアーム部 72 a, 72 b の先端部 73 a, 73 b をワイヤクランプ荷重とは反対方向（開かせる方向）に荷重を加えるとともに、脈流の交流成分によって一对のアーム部 72 a, 72 b の先端部 73 a, 73 b を開閉方向に振動させる。ここで、脈流の交流成分である所定の周波数は、例えば、一对のアーム部 72 a, 72 b の固有角振動数に基づいて決定される共振周波数 f_r である。本実施形態では、駆動電圧供給部 90 a は駆動用ピエゾ素子 80 に共振周波数 f_r （又は f_r 付近の周波数）を印加する。

[0042] 衝突検出部 90 b は、駆動電圧供給部 90 a によって駆動用ピエゾ素子 80 が駆動されることによって一对のアーム部 72 a, 72 b が開閉方向に振動しているとき、駆動用ピエゾ素子 80 からの出力電流を検出し、検出された出力電流に基づいて、一对のアーム部 72 a, 72 b が衝突したか否かを検出する。具体的には、駆動電圧供給部 90 a によって脈流の直流成分又は交流成分の入力値を変化させ、衝突検出部 90 b によってそれぞれの入力値について一对のアーム部 72 a, 72 b が衝突したか否かを検出する。

[0043] 衝突検出部 90 b は、駆動用ピエゾ素子 80 の出力電流を例えばフーリエ

変換などを用いて解析することによって、一对のアーム部72a, 72bにおける先端部73a, 73bのクランプ片71a, 71bが互いに衝突したか否かを検出することができる。一对のアーム部72a, 72bが開閉方向に振動すると駆動用ピエゾ素子80に電位差が生じる。そして、一对のアーム部72a, 72bが互いに衝突すると、駆動用ピエゾ素子80から得られる電位差に大きな変化が生じる。そこで、本実施形態では、このような駆動用ピエゾ素子80の電位差の変化に基づいて、一对のアーム部72a, 72bが衝突したか否かを検出する。衝突検出部90bが検出された出力電流に関するデータはワイヤボンディング制御部90のメモリに格納される。

[0044] 電圧算出部90cは、衝突検出部90bが検出した出力電流に関するデータをメモリから読み出し、当該出力電流に関するデータに基づいて、一对のアーム部72a, 72bにおける閉状態の基準電圧を算出する。ここで、一对のアーム部72a, 72bにおける閉状態の基準電圧とは、ワイヤクランプ荷重が実質的にゼロの状態に互いに接触した状態（荷重ゼロポイント）に相当する直流電圧である。このような基準電圧は、例えば、一对のアーム部72a, 72bが閉じ終わるときの閉状態を示す第1基準電圧であってもよいし、一对のアーム部72a, 72bが開き始めるときの閉状態を示す第2基準電圧であってもよい。電圧算出部90cによって第1及び第2基準電圧の少なくとも1つを算出する。また、電圧算出部90cは、上記基準電圧の算出に加えて、衝突検出部90bから得られた出力電流に関するデータに基づいて、駆動電圧が供給されたとき的一对のアーム部72a, 72bにおける開き量を算出する。なお、電圧算出部90cによる基準電圧及び開き量の算出例は後述する。

[0045] 電圧算出部90cが取得した基準電圧に関するデータはワイヤボンディング制御部90のメモリに格納される。

[0046] 電圧キャリブレーション部90dは、電圧算出部90cが算出した基準電圧又はアーム部の開き量に関するデータをメモリから読み出し、当該基準電圧又はアーム部の開き量に基づいて、ワイヤボンディング処理において駆動

用ピエゾ素子 80 に印加する駆動電圧（直流電圧）をキャリブレーションする。この場合、電圧キャリブレーション部 90 d は、既に設定されている駆動電圧の数値を補正してもよいし、あるいは、駆動用ピエゾ素子 80 に印加すべき駆動電圧を新規に設定してもよい。こうして、電圧キャリブレーション部 90 d によってキャリブレーションされた駆動電圧は、ワイヤボンディング制御部 90 のメモリに格納される。そして、駆動電圧供給部 90 a は、ワイヤボンディング処理において、当該メモリに格納されたキャリブレーションされた駆動電圧を読み出し、当該駆動電圧に基づいて駆動用ピエゾ素子 80 を駆動させることができる。

[0047] 次に、図 4 ～図 12 を参照して、本実施形態に係るワイヤクランプ装置のキャリブレーション方法を説明する。

[0048] ここで、図 4 は、この方法のフローチャートを示すものである。また、図 5 は、ワイヤクランプ装置 70 における駆動電圧とアーム部の開き量の関係（ピエゾ素子のヒステリシスカーブ）を示す図である。また、図 6 は駆動用ピエゾ素子に印加する入力電圧の一例であり、図 7 ～図 10 は駆動用ピエゾ素子の出力電流に関する波形を示したものである。また、図 11 及び図 12 はそれぞれ、アーム部の閉状態を示す基準電圧を算出する一例を示したものである。

[0049] 本実施形態に係るキャリブレーション方法は上記ワイヤボンディング装置 1 を用いて行うことができる。また、本実施形態に係るワイヤクランプ装置のキャリブレーション方法は、ワイヤボンディング終了時（すなわち次のワイヤボンディング開始前）や、ワイヤボンディングのためのティーチング時等に行うことができる。

[0050] まず、ワイヤクランプ装置 70 を用意する（S10）。具体的には、ワイヤクランプ装置 70 をボンディングヘッドに搭載することによってワイヤボンディング装置 1 の構成要素として組み入れる。

[0051] 次に、駆動電圧供給部 90 a によって、一対のアーム部 72 a, 72 b を開閉方向に振動させるように所定の周波数を印加して駆動用ピエゾ素子 80

を駆動させる（S 1 1）。すなわち駆動用ピエゾ素子 8 0 に脈流を供給する。こうして、脈流の直流成分によって一対のアーム部 7 2 a, 7 2 b の先端部 7 3 a, 7 3 b をワイヤクランプ荷重とは反対方向（開かせる方向）に荷重を加えるとともに、脈流の交流成分によって一対のアーム部 7 2 a, 7 2 b の先端部 7 3 a, 7 3 b を開閉方向に振動させる。交流成分である所定の周波数は、例えば、共振周波数 $f_r = \text{約 } 2.3 \text{ [kHz]}$ であるがこれに限定されるものではない。例えば、共振周波数を付与すると、一対のアーム部 7 2 a, 7 2 b が過度に衝突してしまうような場合には、あえて共振周波数からオフセットさせた共振周波数付近の周波数を印加することができる。

[0052] そして、一対のアーム部 7 2 a, 7 2 b が開閉方向に振動しているときの駆動用ピエゾ素子 8 0 から出力される出力電流に基づいて、一対のアーム部 7 2 a, 7 2 b が衝突したか否かを検出する（S 1 2）。その後、検出を終えていない場合は（S 1 3 NO）、ステップ S 1 1 に戻り、脈流の直流成分又は交流成分の各入力値を変化させ、ステップ S 1 2 において、変化した後の入力値について衝突検出部 9 0 b によって一対のアーム部 7 2 a, 7 2 b が衝突したか否かを検出する。こうして、駆動工程及び検出工程を繰り返し行い、検出が終了したと判断された場合（S 1 3 YES）、この検出結果に基づいて、電圧算出部 9 0 c によって、一対のアーム部 7 2 a, 7 2 b における閉状態の基準電圧とアーム部の開き量を算出する（S 1 3）。

[0053] ここで、ステップ S 1 1 ～ S 1 4 の処理について具体例を説明する。本実施形態では、ステップ S 1 1 ～ S 1 4 によって、一対のアーム部 7 2 a, 7 2 b が閉じ終わるときの閉状態を示す第 1 基準電圧 V_{R1} と、一対のアーム部 7 2 a, 7 2 b が開き始めるときの閉状態を示す第 2 基準電圧 V_{R2} と、駆動電圧が供給されたときの二対のアーム部 7 2 a, 7 2 b の開き量 α とをそれぞれ算出する。なお、図 5 に示すとおり、 V_{R1} 及び V_{R2} は、駆動用ピエゾ素子 8 0 に圧電特性によって互いに異なる電圧値となる。

[0054] <基準電圧 V_{R1} の算出例>

まず、駆動電圧供給部 9 0 a によって駆動用ピエゾ素子 8 0 に図 6 に示す

脈流を供給する。図6に示す例では、直流電圧（DC電圧）：125V、振幅（AC成分）：10V、周波数：固有振動数（例えば共振周波数 $f_r = 2.3\text{ kHz}$ ）の脈流である。このような脈流を供給することによって、一对のアーム部72a, 72bの先端部73a, 73bが互いに離れる方向に荷重を加えると同時に開閉方向に振動させる（S11）。

[0055] 次に、衝突検出部90bによって、一对のアーム部72a, 72bが開閉方向に振動しているときの駆動用ピエゾ素子80の出力電流を検出し、検出された出力電流に基づいて、一对のアーム部72a, 72bが衝突したか否かを検出する（S12）。

[0056] 一对のアーム部72a, 72bが衝突しない場合、駆動用ピエゾ素子80の出力電流の波形は図7のように変化し、これをFFT（Fast Fourier Transform）処理した図8からわかるとおり、振動周波数の強度は、共振周波数 f_r （本実施形態では $f_r = \text{約} 2.3\text{ [kHz]}$ ）である第1ピークのみが出現する。すなわち、図8の解析結果によって、一对のアーム部72a, 72bの先端部73a, 73bが衝突していないことがわかる。

[0057] その後、次の検出の工程に移行し（ステップS13 NO）、駆動用ピエゾ素子80に供給する脈流の入力値（直流成分及び交流成分の少なくとも一方の入力値）を変化させて、変化後の入力値について同様にステップS11及びS12を行う。

[0058] 具体的には、共振周波数 f_r 及び振幅10Vを維持したまま、一对のアーム部72a, 72bの先端部73a, 73bが衝突したことを検出できるまで直流電圧を減少させる。図11に示す例では直流電圧110Vまで減少させている。

[0059] これによって一对のアーム部72a, 72bが衝突する場合、駆動用ピエゾ素子80の出力電流の波形は図9に示すように変化し、これをFFT（Fast Fourier Transform）処理した図10からわかるとおり、振動周波数の強度は、共振周波数 f_r （この例では $f_r = \text{約} 2.3\text{ [kHz]}$ ）である第1ピークのほか、共振周波数 f_r とは異なる周波数 f_x が第2ピーク（第1ピーク

クよりも強度が小さい)として出現する。すなわち、図10の解析結果によって、一对のアーム部72a, 72bの先端部73a, 73bが衝突したことがわかる。

[0060] こうして、図11に示すように、衝突検出部90bによって一对のアーム部72a, 72bが衝突したと判断した第1測定点m1(直流電圧110V、振幅10V)を取得する。衝突検出部90bによって取得される測定点のデータは、ワイヤボンディング制御部90のメモリに格納される。

[0061] 次に、駆動用ピエゾ素子80に供給する脈流の交流成分(振幅)の入力値を9Vに減少させ、一对のアーム部72a, 72bの先端部73a, 73bが衝突したことを検出できるまで再び直流電圧を減少させる。図11に示す例では直流電圧103Vまで減少させている。こうして、図11に示すように、衝突検出部90bによって一对のアーム部72a, 72bが衝突したと判断した第2測定点m2(直流電圧103V、振幅9V)を取得する。

[0062] このようにして、ステップS11~S13を繰り返し行い、衝突検出部90bによって一对のアーム部72a, 72bが衝突したと判断した2以上の測定点を取得する。図11に示す例では6つの測定点m1~m6を取得する。各測定点m1~m6(直流電圧(DC)及び振幅(AC))は、m1(DC110V、AC10V)、m2(103V、AC9V)、m3(DC96V、AC8V)、m4(DC89V、AC7V)、m5(DC82V、AC6V)、及び、m6(DC75V、AC5V)である。

[0063] その後、衝突検出を終了し(S13 YES)、複数の測定点から交流成分の振幅がゼロに相当する第1基準電圧VR1=約40Vを算出する(S14)。このような第1基準電圧VR1は、図5に示すように、駆動電圧(直流電圧)をVmaxから減少させたときに通過する曲線における、アーム部の開き量がほぼゼロに近い電圧値に対応している。

[0064] なお、上記駆動及び検出の各工程においては、駆動用ピエゾ素子80に供給する脈流の入力値を変化させながら、アーム部が衝突したか否かを検出するといったように、ステップS11及びS12は同時に行うことができる。

[0065] また、ステップS 1 1 及びS 1 2における図6～図1 0に示される入出力のデータは、ワイヤボンディング制御部9 0のメモリに格納され、また、作業者の操作に応じて表示部9 4に表示される。

[0066] <基準電圧V R 2の算出例>

基準電圧V R 2についても、上記基準電圧V R 1と同様に、ステップS 1 1～S 1 3を繰り返し行うことによって算出することができる。ただし、基準電圧V R 2では、一对のアーム部7 2 a, 7 2 bが衝突したと判断できなくなった測定点を取得する点で、基準電圧V R 1の算出方法と異なっている。

[0067] 具体的には、まず、駆動電圧供給部9 0 aによって駆動用ピエゾ素子8 0に、直流電圧（DC電圧）：7 5 V、振幅（AC成分）：5 V、周波数：固有振動数（例えば共振周波数 $f_r = 2.3 \text{ kHz}$ ）の脈流を供給する（S 1 1）。次に、衝突検出部9 0 bによって、一对のアーム部7 2 a, 7 2 bが開閉方向に振動しているときの駆動用ピエゾ素子8 0の出力電流を検出し、検出された出力電流に基づいて、一对のアーム部7 2 a, 7 2 bが衝突したか否かを検出する（S 1 2）。

[0068] 図1 1でも示したとおり（測定点m 6参照）、上記した脈流の入力値では、一对のアーム部7 2 a, 7 2 bは衝突するので、図9及び図1 0で説明したような出力が得られる。

[0069] その後、次の検出の工程に移行し（ステップS 1 3 NO）、共振周波数 f_r 及び振幅5 Vを維持したまま、一对のアーム部7 2 a, 7 2 bの先端部7 3 a, 7 3 bが衝突しなくなったことを検出できるまで直流電圧を減少させる。図1 2に示す例では直流電圧5 1 Vまで減少させている。

[0070] これによって、一对のアーム部7 2 a, 7 2 bが衝突しなくなった場合、図7及び図8の出力波形に変化する。こうして、図1 2に示すように、衝突検出部9 0 bによって一对のアーム部7 2 a, 7 2 bが衝突しなくなったと判断した第1測定点m' 1（直流電圧5 1 V、振幅5 V）を取得する。

[0071] 次に、駆動用ピエゾ素子80に供給する脈流の交流成分（振幅）の入力値を6Vに増加させ、一对のアーム部72a, 72bの先端部73a, 73bが衝突しなくなったことを検出できるまで再び直流電圧を減少させる。図12に示す例では、振幅6Vにおいても依然として、一对のアーム部72a, 72bの先端部73a, 73bは衝突しないままであり、かかる第2測定点m'2（直流電圧51V、振幅6V）を取得する。その後、振幅の入力値をさらに7Vに増加させ、図12に示すように、衝突検出部90bによって一对のアーム部72a, 72bが衝突しなくなったと判断した第3測定点m'3（直流電圧50V、振幅7V）を取得する。

[0072] このようにして、ステップS11～S13を繰り返し行い、衝突検出部90bによって一对のアーム部72a, 72bが衝突しなくなったと判断した2以上の測定点を取得する。図12に示す例では8つの測定点m'1～m'8を取得する。各測定点m'1～m'8（直流電圧（DC）及び振幅（AC））は、m'1（DC51V、AC5V）、m'2（DC51V、AC6V）、m'3（DC50V、AC7V）、m'4（DC49V、AC8V）、m'5（DC49V、AC9V）、m'6（DC48V、AC10V）、m'7（DC47V、AC11V）、及び、m'8（DC46V、AC12V）である。

[0073] その後、衝突検出を終了し（S13 YES）、複数の測定点から交流成分の振幅がゼロに相当する第2基準電圧VR2＝約54Vを算出する（S14）。このような第2基準電圧VR2は、図5に示すように、駆動電圧（直流電圧）をゼロから増加させたときに通過する曲線における、アーム部の開き量がほぼゼロに近い電圧値に対応している。なお、基準電圧VR1及びVR2は、VR1<VR2の関係を有する。

[0074] <アーム部の開き量 α の算出例>

アーム部の開き量 α は、一对のアーム部72a, 72bの先端部73a, 73bの間にワイヤ42を挟んだ状態で、ステップS11及びS12を行い、一对のアーム部72a, 72bの先端部73a, 73bがワイヤ42に衝突し

たか否かを検出することによって算出することができる。ここで、アーム部の開き量 α は単位電圧当たりの一对のアーム部72a, 72bの先端部73a, 73bの移動量である。

[0075] 具体的には、まず、ステップS11において、例えばワイヤ径 ϕ =約20 μ mのワイヤ42を挟んだ状態で、直流電圧(DC電圧):125V、振幅(AC成分):8V、周波数:固有振動数(例えば共振周波数 $f_r=2.3$ kHz)の脈流を駆動用ピエゾ素子80に供給する。次に、ステップS12において、衝突検出部90bによって一对のアーム部72a, 72bが衝突した否かを検出する(S12)。そして、一对のアーム部72a, 72bが衝突しない場合は、衝突検出部90bによって一对のアーム部72a, 72bが衝突したことが検出できるまで、駆動用ピエゾ素子80に供給する脈流の直流電圧を減少させる。こうして、例えば、一对のアーム部72a, 72bが衝突したことが検出できた脈流の直流電圧が120Vであった場合は、衝突検出部90bによって一对のアーム部72a, 72bが衝突したと判断した測定点 $m''1$ (直流電圧120V、振幅8V)を取得し、かかる測定点のデータをワイヤボンディング制御部90のメモリに格納する。

[0076] そして、測定点 $m''1$ を、基準電圧VR1及びVR2を算出する過程で得られたいずれかの測定点(例えば $m1\sim m6$ 又は $m'1\sim m'8$)と比較し、この比較結果によってアーム部の開き量 α を算出する(S14)。一例では、測定点 $m''1$ と振幅が同一である測定点 $m3$ (直流電圧96V、振幅8V)と比較する。

[0077] ここで、ワイヤ径 ϕ (=20 μ m)、測定点 $m''1$ の直流電圧と測定点 $m3$ の直流電圧との差分 ΔV (=24V)とすると、アーム部の開き量 α は $\alpha=\phi/\Delta V$ の関係を有し、本実施形態の一例では、 α =約0.83となる。

[0078] こうしてワイヤクランプ装置70における一对のアーム部72a, 72bの開閉動作に関する特性を得ることができる。かかる特性は、ワイヤボンディング制御部90のメモリに格納され、また、作業者の操作に応じて表示部

94に表示させてもよい。

[0079] 図4に戻ると、その後、駆動用ピエゾ素子80に印加する駆動電圧をキャリブレーションする(S15)。本実施形態では、基準電圧VR1及びVR2、並びに、アーム部の開き量 α に基づいて、電圧キャリブレーション部90dによって駆動電圧をキャリブレーションする。その後、駆動電圧がキャリブレーションされたワイヤクランプ装置70を用いて、ワイヤボンディング処理を開始する(S16)。本実施形態によれば、駆動電圧に対応するワイヤクランプ装置70の一对のアーム部72a, 72bの開閉動作(開き量)を正確に把握することができるため、高精度かつ安定したワイヤボンディング処理を行うことができる。

[0080] その後、ワイヤボンディングを終了するか否かを判断し(S17)、終了せずにさらにワイヤボンディングを継続する場合(S17 NO)、ステップS11に戻る。他方、ワイヤボンディングを終了する場合(S17 YES)、本方法を終了する。なお、ステップS11からS17の各工程は、例えば、ワイヤ径が異なるワイヤボンディングを行う場合や、温度環境が異なるワイヤボンディングを行う場合など、ワイヤボンディング処理の態様が異なるたびに行うことが好ましい。これによって、それぞれの状況に対応するワイヤクランプ装置70の開き量に応じてキャリブレーションすることができるため、とりわけ効果的である。

[0081] 以上のとおり、本実施形態によれば、所定の周波数を印加して駆動用ピエゾ素子80を駆動させ、一对のアーム部72a, 72bが開閉方向に振動しているときの駆動用ピエゾ素子80から出力される出力電流に基づいて、一对のアーム部72a, 72bの先端部同士が衝突したか否かを検出し、この検出結果に基づいて基準電圧を算出してキャリブレーションする。これにより、一对のアーム部72a, 72bの開き量を簡単かつ正確に調整することができたため、ワイヤクランプ装置70の開閉動作の精度向上及び安定化を図ることができる。したがって、正確かつ安定したワイヤボンディングを行うことができる。

- [0082] また、本実施形態によれば、駆動用ピエゾ素子 80 を用いてワイヤクランプ装置 70 の駆動及びキャリブレーションの両方を行うことができるため、例えば従来のレーザ変位計などを用いる構成に比べて、簡易な構成によって駆動電圧のキャリブレーションを行うことができる。
- [0083] 本発明は、上記実施形態に限定されることなく種々に変形して適用することが可能である。
- [0084] 上記実施形態では、駆動用ピエゾ素子の出力電流をダイレクトに検出する態様を説明したが、駆動用ピエゾ素子の出力電流を検出するために、例えば他の検出用ピエゾ素子などの他のセンサを用いても構わない。
- [0085] また、上記実施形態では、出力電流を F F T 処理することによって一对のアーム部の衝突の有無を解析する態様を説明したが、本発明は、必ずしも F F T 処理を行う態様に限定されるものではなく、F F T 処理を行うことなく出力電流から解析してもよいし、あるいは、F F T 以外の他の処理を行うことによって解析してもよい。
- [0086] また、上記実施形態では、基準電圧 V_{R1} 、 V_{R2} 及び開き量 α の順番で取得する例を説明したが、基準電圧の取得の順番はこれに限られるものではなく、適宜順番を変更等することができる。また、基準電圧 V_{R1} 、 V_{R2} を算出するときには、一对のアーム部 72a、72b の先端部 73a、73b が互いに衝突するか否かを検出してもよいし、あるいは、基準電圧 V_{R1} 、 V_{R2} を算出するときにも、ワイヤを挟んだ状態で検出を行い、一对のアーム部 72a、72b の先端部 73a、73b がワイヤに衝突したか否かを検出しても構わない。
- [0087] 本発明において、駆動用ピエゾ素子への駆動電圧の向きとアーム部の開閉動作の向きとの関係は、上記実施形態の例に限るものではなく、例えば、負方向の駆動電圧を駆動用ピエゾ素子に印加することによって一对のアーム部を互いに開く方向に移動させてもよい。
- [0088] また、本発明において、ワイヤクランプ装置の構成要素は、上記実施形態に限定されるものではなく、駆動用ピエゾ素子の駆動によってアーム部の開

閉動作が可能であれば、特に限定されるものではない。

[0089] 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

[0090] 1 …ワイヤボンディング装置
 7 0 …ワイヤクランプ装置
 7 2 a, 7 2 b …アーム部
 7 3 a, 7 3 b …先端部
 7 4 a, 7 4 b …基端部
 7 6 …駆動部
 9 0 …ワイヤボンディング制御部
 9 0 a …駆動電圧供給部
 9 0 b …衝突検出部
 9 0 c …電圧算出部
 9 0 d …電圧キャリブレーション部