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] 半導体ダイを基板などにワイヤボンディング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には、ワイヤをクランプするための先端部を有する一対のアーム部と、当該一対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対のアーム部の先端部の間の距離が制御される。かかる制御によって、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２９８１９４８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、圧電素子への印加電圧に対応するアーム部の開き量の絶対値を確認することができなかった。そのため、圧電素子への印加電圧の値が一定であっても、ワイヤクランプ装置毎にアーム部の開き量がばらつく場合があった。とりわけ、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や、ワイヤボンディング装置本体への取り付け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やすいことから、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、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

[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対のアーム部と、一対のアーム部の基端部に結合され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を用意すること、駆動用ピエゾ素子の駆動によって一対のアーム部が閉状態となったタイミングを検出すること、及び、検出結果に基づいて駆動用ピエゾ素子への印加電圧を設定することを含む。

[0007] 上記構成によれば、一対のアーム部が閉状態となったタイミングを一対のアーム部の先端部同士の電気的導通により検出し、一対のアーム部が閉状態となる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。これにより、アーム部の開き量を正確に調整することができる。よって、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] 本発明の他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、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及び駆動用ピエゾ素子による一対のアーム部の開閉に伴って生じる応力を検出する検出用ピエゾ素子を有し、一対のアーム部の基端部に結合される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、駆動電圧により駆動用ピエゾ素子を駆動させたとき、一対のアームが

閉状態となったタイミングを応力の変化に基づいて検出し、一対のアームが閉状態となる基準電圧を取得する工程と、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。

[0009] 上記構成によれば、一対のアーム部が閉状態となったタイミングを検出用ピエゾ素子の応力の変化に基づいて検出し、一対のアーム部が閉状態となる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。これにより、アーム部の開き量を正確に調整することができる。よって、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。

[0010] 上記方法において、検出用ピエゾ素子は、駆動用ピエゾ素子と一対のアーム部の基端部との間に設けられてもよい。

[0011] 上記方法において、ワイヤクランプ装置の駆動部には、駆動用ピエゾ素子に接触するひずみセンサが設けられ、方法は、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た後、ワイヤボンディング処理において、駆動用ピエゾ素子の駆動に伴うひずみセンサの出力値を検出し、ひずみセンサの出力値に基づいて駆動用ピエゾ素子に印加する駆動電圧を制御する工程をさらに含んでもよい。

[0012] 本発明の他の一態様に係るワイヤボンディング装置は、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、駆動電圧により駆動用ピエゾ素子を駆動させたとき、一対のアーム部が閉状態となったタイミングを一対のアーム部の先端部同士の電気的導通により検出し、一対のアーム部が閉状態となる基準電圧を取得する基準電圧取得部と、基準電圧取得部が取得した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た。

[0013] 上記構成によれば、一対のアーム部が閉状態となったタイミングを一対のアーム部の先端部同士の電気的導通により検出し、一対のアーム部が閉状態

となる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。これにより、アーム部の開き量を正確に調整することができる。よって、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。

[0014] 本発明の他の一態様に係るワイヤボンディング装置は、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、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及び駆動用ピエゾ素子による一対のアーム部の開閉に伴って生じる応力を検出する検出用ピエゾ素子を有し、一対のアーム部の基端部に結合される駆動部とを備えるワイヤクランパと、駆動電圧により駆動用ピエゾ素子を駆動させたとき、一対のアームが閉状態となったタイミングを応力の変化に基づいて検出し、一対のアームが閉状態となる基準電圧を取得する基準電圧取得部と、基準電圧取得部が取得した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た。

[0015] 上記構成によれば、一対のアーム部が閉状態となったタイミングを検出用ピエゾ素子の応力の変化に基づいて検出し、一対のアーム部が閉状態となる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。これにより、アーム部の開き量を正確に調整することができる。よって、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。

[0016] 上記装置において、検出用ピエゾ素子は、駆動用ピエゾ素子と一対のアーム部の基端部との間に設けられてもよい。

[0017] 上記装置において、ワイヤクランプ装置の駆動部には、駆動用ピエゾ素子に接触する駆動用ピエゾ素子に接触するひずみセンサが設けられ、駆動用ピエゾ素子の駆動に伴うひずみセンサの出力値を検出し、ひずみセンサの出力値に基づいて駆動用ピエゾ素子に印加する駆動電圧を制御する電圧制御部をさらに備えていてもよい。

発明の効果

[0018] 本発明によれば、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を提供することができる。

図面の簡単な説明

[0019] [図1]図１は、本発明の第１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２Ａ及び図２Ｂ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、本発明の第１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、本発明の第２実施形態に係るワイヤクランプ装置の斜視図である。

[図6]図６は、本発明の第２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ためのグラフである。

発明を実施するための形態

[0020] 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。

[0021] ＜第１の実施形態＞

図１は、本実施形態に係るワイヤボンディング装置の全体概略を示した図である。また、図２Ａ及び図２Ｂ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２Ａ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。

[0022] 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。

[0023] 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。

[0024] 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。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。

[0025] 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、ピエゾ振動子である。

[0026] また、図１及び図２Ａに示すように、ボンディングアーム２０の頂面２１ａ側には、頂面２１ａから底面２１ｂに向かって順番にスリット２５ａ及び２５ｂが形成されている。上部のスリット２５ａは、下部のスリット２５ｂ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２５ａ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、ピエゾ素子荷重センサである。

[0027] 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。

[0028] 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、ワイヤテンショナ４６が設けられ、ワイヤテンショナ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。

[0029] 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。

[0030] 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、一対のアーム部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。一対のアーム部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、一対のアーム部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には図示しない制御電源が接続されており、制御電源から供給される電圧によって一対のアーム部７２ａ，７２ｂの開閉動作が制御される。駆動部７６における一対のアーム部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、一対のアーム部７２ａ，７２ｂの延在方向を先端部７３ａ，７３ｂ側から見た状態が示されている。

[0031] 一対のアーム部７２ａ，７２ｂは、その基端部７４ａ，７４ｂにおいて、複数の連結部７７ａ，７７ｂ，７８ａ，７８ｂを介して駆動部７６に連結されている。具体的には、一対のアーム部７２ａ，７２ｂをワイヤ軸方向の上

方から見たとき、一対の連結部７８ａ，７８ｂは、一対のアーム部７２ａ，７２ｂの両外側に設けられ、また、一対の連結部７７ａ，７７ｂは、一対の連結部７８ａ，７８ｂ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、一対の連結部７７ａ，７７ｂ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。電圧を印加することにより駆動用ピエゾ素子８０が一対のアーム部７２ａ，７２ｂの延在方向に伸縮することによって、各連結部７７ａ，７７ｂ，７８ａ，７８ｂが、一対のアーム部７２ａ，７２ｂの先端部７３ａ，７３ｂを開閉させるように弾性変形する。なお、各連結部７７ａ，７７ｂ，７８ａ，７８ｂは先端部７３ａ，７３ｂが閉じる方向にばね性を有している。

[0032] 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。図３に示す例では、駆動用ピエゾ素子８０に接触してひずみセンサ８２が設けられている。ひずみセンサ８２は、駆動用ピエゾ素子８０の駆動によって生じるひずみを検出するものである。ひずみセンサ８２は、駆動用ピエゾ素子８０の周囲の各面に接着されていてもよい。ひずみセンサ８２は、配線８４を介してワイヤボンディング制御部９０に電気的に接続されている。

[0033] 一対のアーム部７２ａ，７２ｂ（クランプ片７１ａ，７１ｂ、先端部７３ａ，７３ｂ及び基端部７４ａ，７４ｂ）は導電性材料によって構成されている。なお、本実施形態においては、一対のアーム部７２ａ，７２ｂが閉状態となったことを電気的に検出するために、例えば基端部７４ａ，７４ｂの少なくとも一方（図３では基端部７４ｂ）に絶縁層７５を設けている。絶縁層７５は、一対のアーム部７２ａ，７２ｂが閉状態となったときに、先端部７３ａ，７３ｂ以外の部分において電気的にショートすることを防止するものである。これにより、一対のアーム部７２ａ，７２ｂが閉状態となることを、例えば、先端部７３ａ，７３ｂのクランプ片７１ａ，７１ｂのみが互いに

電気的に導通したことをもって検出することができる。

[0034] 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、一対のアーム部７２ａ，７２ｂの先端部７３ａ，７３ｂ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は一対のアーム部７２ａ，７２ｂの延在方向（言い換えれば、駆動部７６と作用部７９との間を結ぶ方向）に伸び、これにより作用部７９が一対のアーム部７２ａ，７２ｂの方向へ移動させられ、こうして連結部７７ａ，７７ｂ，７８ａ，７８ｂが外側方向にたわみ、先端部７３ａ，７３ｂは開いた状態となる。このときの先端部７３ａ，７３ｂの移動量（すなわちアーム部の開き量）は、作用部７９から連結部までの長さと連結部から先端部７３ａ，７３ｂまでの長さの比に応じて、駆動用ピエゾ素子８０の伸び量が拡大されたものに相当する。

[0035] さらに詳述すると、駆動用ピエゾ素子８０に印加される電圧がゼロの状態から電圧を加えると、先端部７３ａ，７３ｂによるワイヤクランプ荷重は、駆動用ピエゾ素子８０の印加電圧に比例して小さくなり、電圧値が所定値となったとき先端部７３ａ，７３ｂのクランプ片７１ａ，７１ｂが、ワイヤクランプ荷重がゼロの状態で互いに接触した状態（閉状態）となる。さらに印加電圧を増加させると、先端部７３ａ，７３ｂは互いに離れる方向に開いた状態となる。なお、駆動用ピエゾ素子８０の印加電圧の変動に伴う一対のアーム部７２ａ，７２ｂの開き量の関係は予め測定しておいてもよい。

[0036] 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９０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）、荷重センサ５０及びワイヤクランプ装置７０などの各構成との間で信号の送受信が可能なように接続されており、ワイヤボンディング制御部９０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。

[0037] また、ワイヤボンディング制御部９０には、制御情報を入力するための操作部９２と、制御情報を出力するための表示部９４が接続されている。これにより作業者が表示部９４によって画面を認識しながら操作部９２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９０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。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）。

[0038] 本実施形態に係るワイヤボンディング制御部９０は、基準電圧取得部９０ａと、電圧キャリブレーション部９０ｂと、ひずみ検出部９０ｃと、電圧制御部９０ｄとを備える。

[0039] 基準電圧取得部９０ａは、駆動電圧によって駆動用ピエゾ素子８０を駆動させたとき、一対のアーム部７２ａ，７２ｂが閉状態となる基準電圧を取得する。具体的には、駆動用ピエゾ素子８０を駆動させたときの一対のアーム部７２ａ，７２ｂが閉状態となったタイミング、すなわち、先端部７３ａ，７３ｂのクランプ片７１ａ，７１ｂが、ワイヤクランプ荷重がゼロの状態で互いに接触した状態（荷重ゼロポイント）を検出し、このときの駆動用ピエゾ素子８０に印加した電圧を基準電圧として取得する。

[0040] 本実施形態では、基準電圧取得部９０ａによる基準電圧の取得は、一対のアーム部７２ａ，７２ｂが互いに電気的に導通するか否かによって行われる。この場合、ワイヤ４２を挿通しない状態においてクランプ片７１ａ，７１ｂが互いに接触した状態を電気的に検出することが好ましい。これによって正確に荷重ゼロポイントとなるタイミングを検出することができる。電気的検出は、各アーム部７２ａ，７２ｂに電圧を印加することによって、先端部７３ａ，７３ｂのクランプ片７１ａ，７１ｂの間に電流が流れたか否かを検出することによって行うことができる。

[0041] 電圧キャリブレーション部９０ｂは、基準電圧取得部９０ａの検出結果に基づいて、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。ワイヤボンディング処理の各工程に要求される一対のアーム部７２ａ，７２ｂの所望の開き量を予め算出し、また、駆動用ピエゾ素子８０の駆動電圧に対応する一対のアーム部７２ａ，７２ｂの開き量の変化を予め算出しておけば、荷重ゼロポイント基準電圧を特定することによって、ワイヤボンディング処理の各工程において要求される駆動用ピエゾ素子８０の駆動電圧を正確にキャリブレーションすることができる。

[0042] ひずみ検出部９０ｃは、駆動用ピエゾ素子８０の駆動に伴うひずみセンサ８２の出力値を検出する。ひずみセンサ８２は駆動用ピエゾ素子８０に接触して配置されているので、駆動用ピエゾ素子８０の駆動に伴ってひずみセンサ８２の出力値が変化する。そこで、ひずみセンサ８２の出力値と、駆動用ピエゾ素子８０の駆動による一対のアーム部７２ａ，７２ｂの開き量の変化との関係を予め算出しておくことによって、駆動用ピエゾ素子８０の駆動電圧を正確に制御することができる。特に、本実施形態では、ひずみセンサ８２が駆動用ピエゾ素子８０に接触して配置されており、駆動用ピエゾ素子８０の駆動に伴う変化をダイレクトに検出することができるので、駆動用ピエゾ素子８０の駆動電圧をより正確に制御することができる。

[0043] 電圧制御部９０ｄは、ひずみ検出部９０ｃの検出結果に基づいて駆動用ピエゾ素子８０の駆動電圧を制御する。このようにひずみ検出部９０ｃによってひずみセンサ８２を介して駆動用ピエゾ素子８０の動作状態を監視し、かかる監視結果を駆動用ピエゾ素子８０の駆動電圧にフィードバック制御することによって、より正確にワイヤクランプ装置を制御することができる。

[0044] 次に、図４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。図４は、この方法のフローチャートを示すものである。この方法は、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。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。

[0045] 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。

[0046] 次に、アーム部７２ａ，７２ｂが閉状態（例えば上述した荷重ゼロポイントの状態）となる基準電圧を取得する（Ｓ１２）。具体的には、ワイヤボンディング制御部９０を介して駆動用ピエゾ素子８０に駆動電圧を供給し、アーム部７２ａ，７２ｂを開閉動作させ、基準電圧取得部９０ａによって荷重ゼロポイントに対応する荷重ゼロポイント基準電圧を取得する。本実施形態では、先端部７３ａ，７３ｂのクランプ片７１ａ，７１ｂの間に電流が流れたか否かを検出することによって基準電圧を取得する。この場合、駆動用ピエゾ素子８０の駆動電圧がゼロの状態から、駆動電圧を徐々に増加させることによって、荷重ゼロポイントのタイミングを検出することができる。あるいは、逆に、駆動用ピエゾ素子８０の駆動電圧を所定値とすることによってアーム部７２ａ，７２ｂを開いた状態としておき、この状態から駆動電圧を徐々に減少させることによって、荷重ゼロポイント基準電圧を取得してもよい。また、駆動電圧を増加又は減少を繰り返すことによって荷重ゼロポイントのタイミングを検出し、これに基づいて荷重ゼロポイント基準電圧を取得すればより好ましい。なお、基準電圧取得部９０ａによって取得した基準電圧は表示部９４に表示してもよい。

[0047] 次に、基準電圧に基づいて、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（Ｓ１２）。例えば、作業者が表示部９４に表示された基準電圧取得部９０ａによる基準電圧を識別し、これに基づいて操作部９２を介して電圧キャリブレーション部９０ｂによって駆動電圧をキャリブレーションしてもよい。あるいは、基準電圧取得部９０ａによって取得した基準電圧を示す信号を受け取った電圧キャリブレーション部９０ｂが自動的に駆動電圧をキャリブレーションするようにしてもよい。駆動電圧に対応するアーム部の開き量を算出しておけば、あとは荷重ゼロポイントの基準電圧

が特定することによってワイヤボンディング処理におけるワイヤクランプ装置の開き量を正確に制御することが可能となる。

[0048] こうして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（Ｓ１３）。ワイヤボンディング処理中は、ひずみ検出部９０ｃを介してひずみセンサ８２の出力値を検出し（Ｓ１４）、ひずみセンサ８２の出力結果に基づいて、電圧制御部９０ｄを介して駆動用ピエゾ素子８０に印加する駆動電圧を制御する（Ｓ１５）。こうして、駆動用ピエゾ素子８０の駆動状態に応じて、その場で、駆動電圧を制御し、これによって一対のアーム部７２ａ，７２ｂの開閉動作（開き量）を高精度に制御することができる。

[0049] その後、ワイヤボンディングを終了するか否かを判断し（Ｓ１６）、終了せずにさらにワイヤボンディングを継続する場合（Ｓ１６　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（Ｓ１６　ＹＥＳ）、本方法を終了する。なお、ステップＳ１１からＳ１５の各工程は、１つ又は複数のワークに対するワイヤボンディングが終わったことを契機として行うことができる。

[0050] 以上のとおり、本実施形態によれば、一対のアーム部７２ａ，７２ｂが閉状態となったタイミングを一対のアーム部７２ａ，７２ｂの先端部７３ａ，７３ｂ同士の電気的導通により検出し、一対のアーム部７２ａ，７２ｂが閉状態となる基準電圧に基づいて駆動用ピエゾ素子８０に印加する駆動電圧をキャリブレーションする。これにより、一対のアーム部７２ａ，７２ｂの開き量を正確に調整することができる。よって、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。

[0051] また、本実施形態によれば、駆動用ピエゾ素子８０に接触して配置されたひずみセンサ８２が設けられているため、駆動用ピエゾ素子８０の駆動に伴う変化をダイレクトに検出することができる。したがって、駆動用ピエゾ素子８０の駆動電圧をより正確に制御することができる。

[0052] ＜第２の実施形態＞

次に、図５及び図６を参照しつつ、本発明の第２実施形態について説明する。図５は、本実施形態に係るワイヤクランプ装置の斜視図である。また、図６は図５の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ためのグラフである。

[0053] 第１実施形態においては、一対のアーム部７２ａ，７２ｂが閉状態となったタイミングを電気的に検出する形態を説明したが、本実施形態においては、検出用ピエゾ素子１８６によって検出する点が異なっている。以下、第１実施形態の内容と異なる点を説明する。なお、図５において図３と同じ符号を付した構成要素の説明は省略する。

[0054] 本実施形態に係るワイヤクランプ装置１７０は、一対のアーム部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、駆動部７６には、駆動用ピエゾ素子１８０及び検出用ピエゾ素子１８６が設けられている。駆動用ピエゾ素子１８０は、第１実施形態で説明した内容と同様にひずみセンサが接触して配置されていてもよい。

[0055] 検出用ピエゾ素子１８６は、駆動用ピエゾ素子１８０による一対のアーム部７２ａ，７２ｂの開閉に伴って生じる応力を検出する。検出用ピエゾ素子１８６は、駆動用ピエゾ素子１８０の移動方向（すなわち伸縮方向）に駆動用ピエゾ素子１８０に隣接して設けられている。言い換えれば、検出用ピエゾ素子１８６は、駆動部７６と作用部７９との間に駆動用ピエゾ素子１８０と直列に配置されている。

[0056] 図５に示す例では、検出用ピエゾ素子１８６は、一対のアーム部７２ａ，７２ｂの延在方向において、駆動用ピエゾ素子１８０と一対のアーム部７２ａ，７２ｂの基端部７４ａ，７４ｂとの間に設けられている。これにより、検出用ピエゾ素子１８６が、その一方の端部において駆動用ピエゾ素子１８０からの応力を受け、その他方の端部において作用部７９からの応力を受けることができるので、一対のアーム部７２ａ，７２ｂの開閉に伴って生じる応力を正確に検出することができる。

[0057] このようなクランプ装置１７０では、検出用ピエゾ素子１８６によって、

一対のアーム部７２ａ，７２ｂが閉状態となったタイミングの変曲点を検出することができる。この点について図６を用いて詳述する。図６において縦軸は検出用ピエゾ素子の出力値を示し、横軸は一対のアーム部の開閉量を示している。なお、横軸の開閉量については、正の値が開く方向の値であり、負の値が閉じる方向の値であり、ゼロが閉状態を示している。

[0058] この検出方法の一例について説明すると、まず、駆動用ピエゾ素子１８０に所定値の電圧を印加して一対のアーム部７２ａ，７２ｂを開状態（例えば図６の０．８の状態）とし、その状態から駆動用ピエゾ素子１８０への印加電圧を徐々に減少させて、一対のアーム部７２ａ，７２ｂを徐々に閉状態に近づける。そして、駆動用ピエゾ素子１８０への印加電圧を減少させ続け、先端部７３ａ，７３ｂのクランプ片７１ａ，７１ｂが互いに接触した閉状態（図６の横軸のゼロの状態）となると、駆動用ピエゾ素子１８０が縮む方向に応力が解放されてこれが変曲点となって検出用ピエゾ素子１８６の出力に現れる。こうして検出用ピエゾ素子１８６によって荷重ゼロポイントを検出し、このときの駆動用ピエゾ素子８０に印加した電圧を基準電圧として取得することができる。

[0059] なお、検出用ピエゾ素子１８６の配置は上述に限定されるものではなく、変形例として、検出用ピエゾ素子１８６を駆動用ピエゾ素子１８０における作用部７９とは反対側に配置してもよい。この場合においても、検出用ピエゾ素子１８６によって上述した変曲点を検出することができる。

[0060] 本実施形態では、一対のアーム部７２ａ，７２ｂの材料は導電性材料であっても、絶縁性材料であっても特に限定されるものではない。また、第１実施形態で説明した絶縁層７５は備えていなくてもよい。

[0061] 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。

[0062] 上記各実施形態では、一対のアーム部７２ａ，７２ｂが閉状態となったタイミングについて、先端部７３ａ，７３ｂのクランプ片７１ａ，７１ｂが互いに接触した状態を検出する形態を説明したが、本発明はこれに限定される

ものではない。例えば、基準電圧取得部９０ａによる検出は、ワイヤ４２を挿通した状態においてクランプ片７１ａ，７１ｂがそれぞれワイヤ４２に接触した状態を検出してもよい。

[0063] また、上記各実施形態では、荷重ゼロポイントの状態を検出する構成、及び、駆動用ピエゾ素子の駆動に伴うひずみセンサの出力値を検出する構成の両方を採用した形態を説明したが、変形例として、いずれか一方の構成のみを採用してもよい。

[0064] また、本発明において、駆動用ピエゾ素子への印加電圧の向きとアーム部の開閉動作との関係は、上記各実施形態の例に限るものではなく、それらの関係は適宜設定することができる。

[0065] また、本発明において、ワイヤクランプ装置の構成要素は、上記各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。

[0066] 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

[0067] １…ワイヤボンディング装置

７０…ワイヤクランプ装置

７２ａ，７２ｂ…アーム部

７３ａ，７３ｂ…先端部

７４ａ，７４ｂ…基端部

７６…駆動部

８０…駆動用ピエゾ素子

８２…ひずみセンサ

９０…ワイヤボンディング制御部

９０ａ…基準電圧取得部

９０ｂ…電圧キャリブレーション部

９０ｃ…ひずみ検出部

９０ｄ…電圧制御部

１８０…駆動用ピエゾ素子

１８６…検出用ピエゾ素子