

MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ,
NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PA, PE, PG, PH, PL, PT,
QA, RO, RS, RU, RW, SA, SC, SD, SE, SG, SK, SL,
SM, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA,
UG, US, UZ, VC, VN, ZA, ZM, ZW.

- (84) 指定国(表示のない限り、全ての種類の広域保護が可能): ARIPO (BW, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SD, SL, ST, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), ユーラシア (AM, AZ, BY, KG, KZ, RU, TJ, TM), ヨーロッパ (AL, AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, RS, SE, SI, SK, SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, KM, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

添付公開書類：

- 一 国際調査報告（条約第21条(3)）

load F_{req} calculated by the arithmetic unit, power Power or a bond load F to be supplied to the piezoelectric element (16).

(57) 要約：圧電素子（16）と、超音波ホーン（14）と、超音波ホーン（14）の先端に取り付けられてワイヤ（21）を電極に押圧すると共にワイヤ（21）に超音波振動を印加するキャピラリ（15）と、超音波ホーン（14）の共振周波数 f_r に基づいて圧電素子（16）に供給する電力 $P_{ower req}$ 、または、ボンド荷重 F_{req} を算出する演算部（60）と、演算部が算出した電力 $P_{ower req}$ 、または、ボンド荷重 F_{req} に基づいて圧電素子（16）に供給する電力 P_{ower} 、または、ボンド荷重 F を調整する制御部（50）と、を有するワイヤボンディング装置。

明 細 書

発明の名称：ワイヤボンディング装置

技術分野

[0001] 本発明は、超音波ホーンの共振周波数に基づいて圧電素子に供給する電力、キャピラリがワイヤを電極に押圧する荷重を算出し、算出した結果に基づいて圧電素子に供給する電力、キャピラリがワイヤを電極に押圧する荷重を調整するワイヤボンディング装置に関する。

背景技術

[0002] 半導体ダイの電極と基板の電極を金、アルミ、銅等のワイヤで接続するワイヤボンディング装置が多く用いられている。ワイヤボンディング装置は、キャピラリ等のボンディングツールでワイヤを各電極に押圧すると共にワイヤを超音波加振してワイヤを電極の表面に接合する。ワイヤの超音波加振は、超音波振動子によって超音波ホーンを共振させ、その振動をキャピラリ等のボンディングツールによってワイヤに伝達し、ボンディングツールでワイヤを電極に押圧する際にボンディングツールからワイヤに超音波振動を伝達することによって行う。ワイヤボンディング装置において、良好なボンディングを行うためには、ワイヤの押圧荷重、超音波振動子に入力するエネルギー等の制御パラメータを調整することが必要となる。

[0003] このため、ワイヤボンディングされた圧着ボールの直径、ワイヤボンドのせん断強度に基づいてワイヤの押圧荷重、超音波振動子に入力するエネルギー等の制御パラメータを調整することが提案されている（例えば、特許文献1参照）。

[0004] また、半導体ダイの大きさ、半導体ダイを基板に接着している接着材の弾性率、厚さ、ボンディング位置、ボンディング温度に基づいて、ボンディング荷重、超音波振動の出力を補正する方法が提案されている（例えば、特許文献2参照）。

先行技術文献

特許文献

[0005] 特許文献1：特開2012-74699号公報

特許文献2：特開平11-176866号公報

非特許文献

[0006] 非特許文献1：High-Frequency Enhancement For Ambient Temperature Ball Bonding (Ultrasonic energy makes ball bonding at room temperature possible)、Thomas H. Ramesy Ceasar Alfaro

非特許文献2：Frequency Characteristics of Ultrasonic Wire Bonding Using High Frequency Vibration Systems f 40 kHz to 780 kHz, Jiromaru Tsujino, Koichi Hasegawa

発明の概要

発明が解決しようとする課題

[0007] ところで、発明者らの研究により、ワイヤボンディング装置の制御パラメータは、超音波ホーンの共振周波数に依存することがわかってきている。しかし、特許文献1、2に記載された従来技術では、制御パラメータの調整、補正において超音波ホーンの共振周波数を考慮していない。このため、特許文献1、2に記載された従来技術では、異なる共振周波数の超音波ホーンを取り付けてワイヤボンディングを行う際に、制御パラメータを好適に調整、補正することができず、良好なワイヤボンディングを行うことが難しい場合があった。

[0008] そこで、本発明は、異なる共振周波数の超音波ホーンを用いて好適なワイヤボンディングが可能な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

[0009] 本発明のワイヤボンディング装置は、ワイヤを電極に接合するワイヤボンディング装置であって、圧電素子と、圧電素子によって加振され、固有の共振周波数で超音波振動する超音波ホーンと、超音波ホーンの手前に取り付け

られてワイヤを電極に押圧すると共にワイヤに超音波振動を印加するキャピラリと、超音波ホーンの共振周波数に基づいて圧電素子に供給する電力、または、キャピラリがワイヤを電極に押圧する荷重を算出する演算部と、演算部が算出した電力、または、荷重に基づいて圧電素子に供給する電力、または、キャピラリがワイヤを電極に押圧する荷重を調整する制御部と、を有することを特徴とする。

[0010] 本発明のワイヤボンディング装置において、演算部は、超音波ホーンの共振周波数とキャピラリがワイヤを電極に押圧する荷重とに基づいて圧電素子に供給する電力を算出し、制御部は、演算部が算出した電力に基づいて圧電素子に供給する電力を調整することとしてもよい。

[0011] 本発明のワイヤボンディング装置において、演算部は、圧電素子に供給する電力である $Power_{req}$ を下記の式（１）により算出することとしてもよい。

[数1]

$$Power_{req} = |F_{req} \cdot 2\pi f_r \cdot A e^{-Bfr}| \quad \text{--- (1)}$$

ここで、 f_r は、超音波ホーンの共振周波数、 F_{req} は、キャピラリが電極を押圧する荷重、 A は、形状寸法 a 、ボンディングパッドの材質 b 、ボンディングスピード c 、接合部温度 d によって定まる係数、 B は、ワイヤの材質によって決まる係数である。

[0012] 本発明のワイヤボンディング装置において、演算部は、 A を以下の式（２）によって算出することとしてもよい。

[数2]

$$A=f(a, b, c, d) \quad \text{--- (2)}$$

ここで、 f は、形状寸法 a 、ボンディングパッドの材質 b 、ボンディングスピード c 、接合部温度 d の関数である。

[0013] 本発明のワイヤボンディング装置において、演算部は、超音波ホーンの共振周波数と圧電素子に供給する電力とに基づいてキャピラリがワイヤを電極に押圧する荷重を算出し、制御部は、演算部が算出した荷重に基づいてキャピラリがワイヤを電極に押圧する荷重を調整することとしてもよい。

[0014] 本発明のワイヤボンディング装置において、演算部は、キャピラリがワイヤを電極に押圧する荷重である F_{req} を下記の式（3）により算出することとしてもよい。

[数3]

$$F_{req} = | Power_{req} / 2\pi f_r \cdot A e^{-Bfr} | \quad \text{--- (3)}$$

ここで、 f_r は、超音波ホーンの共振周波数、 $Power_{req}$ は、圧電素子に供給する電力、 A は、形状寸法 a 、ボンディングパッドの材質 b 、ボンディングスピード c 、接合部温度 d によって定まる係数、 B は、ワイヤの材質によって定まる係数である。

発明の効果

[0015] 本発明は、異なる共振周波数の超音波ホーンを用いて好適なワイヤボンディングが可能なワイヤボンディング装置を提供可能である。

図面の簡単な説明

[0016] [図1]本発明の実施形態におけるワイヤボンディング装置の構成を示す系統図である。

[図2A]本発明の実施形態におけるワイヤボンディング装置のワイヤボンディング工程中のフリーエアボールの形成工程を示す説明図である。

[図2B]本発明の実施形態におけるワイヤボンディング装置のワイヤボンディング工程中の接合工程を示す説明図である。

[図2C]本発明の実施形態におけるワイヤボンディング装置のワイヤボンディング工程中のルーピング工程を示す説明図である。

[図2D]本発明の実施形態におけるワイヤボンディング装置のワイヤボンディ

ング工程中の接合工程を示す説明図である。

[図3]本発明の実施形態におけるワイヤボンディング装置の動作を示すフローチャートである。

発明を実施するための形態

[0017] <ワイヤボンディング装置の構成>

以下、図面を参照しながら実施形態のワイヤボンディング装置100について説明する。図1に示すように、本実施形態のワイヤボンディング装置100は、フレーム10と、フレーム10の上に取り付けられたXYテーブル11と、XYテーブル11の上に取り付けられたボンディングヘッド12と、ボンディングヘッド12に取り付けられたボンディングアーム13と、ボンディングアーム13の先端に取り付けられた超音波ホーン14と、超音波ホーン14を超音波振動させる圧電素子16と、超音波ホーン14の先端に取り付けられたキャピラリ15と、半導体ダイ19が取り付けられた基板20を加熱吸着するヒートブロック17と、制御部50と、演算部60とを備えている。なお、図1において、XY方向は水平方向、Z方向は上下方向を示す。

[0018] ボンディングヘッド12は、XYテーブル11によってXY方向に移動する。ボンディングヘッド12の内部には、ボンディングアーム13を上下方向（Z方向）に駆動するZ方向モータ30が設けられている。Z方向モータ30は、ボンディングヘッド12に固定された固定子31と、回転軸35の周りに回転する可動子32とで構成されている。可動子32は、ボンディングアーム13の後部と一体になっており、可動子32が回転移動するとボンディングアーム13の先端が上下方向に移動する。可動子32の回転軸35の回転中心33（図1中で一点鎖線37と一点鎖線36の交点で示す）の高さはボンディング面と略同一の高さとなっている。したがって、可動子32が回転移動すると、キャピラリ15の先端は、半導体ダイ19の電極19a（図2Aに示す）の上面に対して略垂直方向に上下に移動する。ボンディングアーム13の先端には、超音波ホーン14のフランジ14aがボルト14

bで固定されている。また、ボンディングアーム13の先端部分の下側の面には、圧電素子16を収容する凹部13aが設けられている。

- [0019] 超音波ホーン14は、超音波振動を伸長させるためにフランジ14aから先端に向かって断面が細くなっている。超音波ホーン14の先端にはキャピラリ15が取り付けられている。キャピラリ15は、中心にワイヤ21を通す為の孔が設けられている円筒形で、先端に向かうにつれて外径が小さくなっている。ヒートブロック17は、フレーム10の上に取り付けられている。ヒートブロック17には、ヒートブロック17を加熱するヒータ18が取り付けられており、その上面に基板20を吸着固定する。
- [0020] Z方向モータ30の固定子31には、モータドライバ42を介して電源41から駆動電力が供給されている。また、圧電素子16には、圧電素子ドライバ44を介して電源43から駆動電力が供給されている。
- [0021] 演算部60は、内部に演算処理を行うCPUとプログラム等を格納するメモリとを有するコンピュータである。図1に示すように、演算部60は、超音波ホーン14の共振周波数 f_r に基づいてボンディングに必要な圧電素子16に供給する電力 $P_{w e r_{r e q}}$ を算出する第1演算ブロック61と、超音波ホーン14の共振周波数 f_r に基づいてボンディングに必要なキャピラリ15がワイヤ21を半導体ダイ19または基板20の電極19a, 20aに押圧する荷重 $F_{r e q}$ とを算出する第2演算ブロック62と、図示しない入力装置からのデータ入力を受ける入力部63とを備えている。
- [0022] 制御部50は、内部に演算処理を行うCPU52と、制御プログラム、データ等を格納するメモリ53と、機器、センサとの入出力を行う機器・センサインターフェース51とを備えるコンピュータである。CPU52とメモリ53と機器・センサインターフェース51とはデータバス54で接続されている。
- [0023] 制御部50は、演算部60が算出した圧電素子16に供給する電力 $P_{w e r_{r e q}}$ または、キャピラリ15がワイヤ21を半導体ダイ19または基板20の電極19a, 20aに押圧する荷重 $F_{r e q}$ が入力され、圧電素子16に供給

する電力Power、または、キャピラリ15がワイヤ21を半導体ダイ19または基板20の電極に押圧する荷重Fを調整する。ここで、制御部50は、Z方向モータ30への供給電力を調整することにより、キャピラリ15がワイヤ21を半導体ダイ19または基板20の電極に押圧する荷重Fを調整する。

[0024] 以下、図2Aから図2Dを参照しながら、図1に示すワイヤボンディング装置100によって半導体ダイ19の電極19aと基板20の電極20aとの間をワイヤ21によって接続するワイヤボンディングの工程について簡単に説明する。

[0025] 図2Aに示すように、キャピラリ15に貫通させたワイヤ21の先端を球状のフリーエアボール21aに形成する。フリーエアボール21aの形成は、トーチ電極22とキャピラリ15の先端から延出したワイヤ21の先端との間にスパークを発生させ、その熱によりワイヤ21を球状に形成する。また、半導体ダイ19が取り付けられた基板20はヒートブロック17に吸着固定されると共にヒータ18によって所定の温度に加熱されている。

[0026] 次に、図2Bに示すように、Z方向モータ30を駆動してボンディングアーム13を回転させ、キャピラリ15の先端を半導体ダイ19の電極19aに向かって下降させる。そして、半導体ダイ19の電極19aの上にフリーエアボール21aを押圧すると同時に圧電素子16に交番方向の電力を供給する。すると、交番電力は、圧電素子16の逆圧電効果により厚み方向に伸長・収縮の機械運動に変換される。そのときの周波数と超音波ホーン14の固有周波数が同調すると超音波ホーン14全体が軸方向に伸縮するように共振する。超音波ホーン14の先端に取り付けられたキャピラリ15は超音波ホーン14との締結部を基準として曲げ方向に連成的に超音波共振する。キャピラリ15によるフリーエアボール21aの電極19aへの押圧と超音波振動によってフリーエアボール21aと半導体ダイ19の電極19aとが接合する。

[0027] 図2Cに示すように、フリーエアボール21aを半導体ダイ19の電極1

9 aの上に接合したら、ワイヤ21を繰り出しながらワイヤ21をルーピングして基板20の電極20 aの上にキャピラリ15を移動させる。そして、図2 Dに示すように、キャピラリ15を下降させてワイヤ21を基板20の電極20 aに押圧して接合する。

[0028] <フォノン伝導効果と、超音波ホーンの共振周波数に基づいて圧電素子に供給する電力とキャピラリがワイヤを電極に押圧する荷重の計算式の導入>

本実施形態のワイヤボンディング装置100の動作について説明する前に、フォノン伝導効果について説明する。フォノンは結晶内を音速で伝播する波動の振る舞いをするときとびとびの量子と定義されている。piezo素子（圧電素子16）の振動をある物質の表面に、または、ある水晶の表面に照射することにより生成される。フォノン生成の相互作用によって、熱伝導、熱膨張、拡散移動が発現する。熱エネルギーがある物質の全体のバルクで吸収されるのとは異なり、フォノンは転位や格子欠陥などの格子の不完全性を有する部位のみに集中し、熱的变化と機械的变化をもたらす。ワイヤボンディングにおいては、フォノンの振動周波数を高めることによって、フォノンの生成を増やし、ワイヤ21と電極19 a, 20 aとの接合界面での転位移動において、金属間の不純物・欠陥による移動障害極小部の温度上昇を促進させる効果がある。（例えば、非特許文献1参照）。

[0029] フォノン伝導効果によれば、超音波振動を応用したワイヤボンディング装置100において、要求される接合界面におけるせん断強度を得るために必要なキャピラリ15の先端における超音波振動の片振幅 y_{req} (μm)は、以下の式(4)で表される。

[数4]

$$y_{req} = Ae^{-Bfr} \quad \text{--- (4)}$$

ここで、Aは形状寸法a、ボンディングパッドの材質b、ボンディングス

ピード c 、接合部温度 d によって定まる係数である（例えば、非特許文献 2 参照）。すなわち、 A は関数 f を用いて下記の式（2）のように表される。

[数5]

$$A=f(a, b, c, d) \quad \text{--- (2)}$$

B は、ワイヤ 21 の材質によって決まる係数である。

f_r は、超音波ホーン 14 の共振周波数 f_r 、すなわち、ワイヤボンディングにおける超音波振動の周波数（Hz）である。

[0030] 圧電素子 16 に供給する電気エネルギー（電力量、単位は mWs）を E 、接合界面において必要せん断強度を得るための必要電力量（単位は mWs）を E_{req} とする。界面の接合はキャピラリ 15 の振幅運動の力学的作用によって達成されるので、そのときの必要振動速度（単位は m/s）を v_{req} とすると、必要電力量 E_{req} は以下の式（5）式で示される。

[数6]

$$E_{req} = T_{req} \cdot Power_{req} + T_{req} \cdot F_{req} \cdot v_{req} \quad \text{--- (5)}$$

ここで、 T_{req} は接合に要するプロセス時間（ms）、 $Power_{req}$ は、圧電素子 16 に供給する電力（mW）、 F_{req} は、キャピラリ 15 がワイヤ 21 またはフリーエアボール 21a を半導体ダイ 19 の電極 19a に押圧する荷重（N）を示す（以下、ボンド荷重 F_{req} という）。式（5）は、ワイヤボンディングプロセスにおいて、変調による皮相電力やキャピラリ 15 による摩擦熱が発現していないと仮定した場合に成立つ。

[0031] ここで、必要電力量 E_{req} （mWs）とワイヤボンディングプロセスとの関係性を調べる。式（5）において、プロセス時間を 0 に極限まで近づけて、 $T_{req} \rightarrow 0$ としたとき、エネルギーは“0”であるから、以下の式（6）が成り立つ。

[数7]

$$\frac{\partial E_{req}}{\partial t} = 0 \quad \text{--- (6)}$$

[0032] 式(6)を時間Tで微分すると、圧電素子16に供給する電力 $Power_{req}$ (mW)は、以下の式(7)で表される。

[数8]

$$Power_{req} = |F_{req} \cdot v_{req}| \quad \text{--- (7)}$$

[0033] ここで、振動速度 v_{req} (m/s)は、以下の式(8)で表される。

[数9]

$$v_{req} = 2\pi f_r y_{req} \quad \text{--- (8)}$$

[0034] 式(8)に式(4)、式(2)を代入すると、以下の式(9)となる。

[数10]

$$v_{req} = 2\pi f_r \cdot f(a, b, c, d) e^{-Bf_r} \quad \text{--- (9)}$$

[0035] 式(7)に式(9)、式(2)を代入すると、圧電素子16に供給する電力 $Power_{req}$ (mW)は、以下の式(1)で表される。

[数11]

$$Power_{req} = |F_{req} \cdot 2\pi f_r \cdot A e^{-Bf_r}| \quad \text{--- (1)}$$

[0036] また、キャピラリ15がワイヤ21を半導体ダイ19の電極19aに押圧する荷重であるボンド荷重 F_{req} (N)は、下記の式(3)により表される。

[数12]

$$F_{req} = |Power_{req} / 2\pi f_r \cdot A e^{-Bfr}| \quad \text{--- (3)}$$

[0037] <超音波ホーンの共振周波数に基づいて圧電素子に供給する電力とキャピラリがワイヤを電極に押圧する荷重の計算例>

以下に、先に導入した式を用いて超音波ホーン14の共振周波数 f_r に基づいて圧電素子16に供給する電力 $Power$ とキャピラリ15がワイヤ21を電極19aに押圧する荷重 F の計算例を示す。

[0038] 各式中の係数 A 、 B はワイヤ21の材質、直径等により様々な数値を取りうるが、一例を示すと、直径30(μm)の金のワイヤ21を用い、直径55(μm)のフリーエアボール21aを0.8(μm)のアルミ蒸着した半導体ダイ19の電極の上にボンディングする場合、係数 A は1.85、係数 B は、0.0016となる。以下の例では、係数 A 、係数 B をそれぞれ1.85、0.0016とした場合の計算例を示す。

[0039] 係数 A 、係数 B をそれぞれ1.85、0.0016、超音波ホーン14の共振周波数 f_r が120(kHz)、ボンド荷重 $F_{req}=0.147$ (N)の場合、圧電素子16に供給に必要な電力 $Power_{req}$ (mW)は、式(1)から、30(mW)と計算される。また、超音波ホーン14の共振周波数 f_r を120(kHz)から150(kHz)に変更し、圧電素子16に供給する電力 $Power_{req}$ を30(mW)に保った場合、必要なボンド荷重 F_{req} (N)は、式(3)により、0.19(N)と計算される。

[0040] このように、式(1)により、超音波ホーン14の共振周波数 f_r (kHz)に基づいて、ボンド荷重 F_{req} (N)を規定した場合に圧電素子16に供給に必要な電力 $Power_{req}$ (mW)を計算することができる。また、式(3)により、超音波ホーン14の共振周波数 f_r (kHz)に基づいて、圧電素子16に供給する電力 $Power_{req}$ (mW)を規定した場合の必要ボンド荷重 F_{req} (N)を計算することができる。従って、共振周波数 f_r (kHz)

z) の異なる超音波ホーン 14 を用いた場合でも、圧電素子 16 に供給が必要な電力 $P_{ower_{req}}$ (mW)、あるいは、必要なボンド荷重 F_{req} (N) を好適に調整することが可能となる。

[0041] <ワイヤボンディング装置の動作>

以下、図3を参照しながら、本実施形態のワイヤボンディング装置 100 の動作について説明する。

[0042] 図3のステップS101に示すように、演算部60の入力部63は、図示しない外部の入力装置から、超音波ホーン14の共振周波数 f_r (kHz)、圧電素子16への供給電力 $P_{ower_{req}}$ (mW)、ボンド荷重 F_{req} (N)、形状寸法 a 、ボンディングパッドの材質 b 、ボンディングスピード c 、接合部温度 d 、係数 B を取得する。ここで、形状寸法 a としては、いろいろな値を考慮することが可能であるが、例えば、ワイヤ21の直径、フリーエアボール21aの直径等としてもよい。

[0043] 入力部63は、図3のステップS102に示すように、入力されたデータに基づいて、圧電素子16への供給電力 $P_{ower_{req}}$ (mW) の調整を行うのか、ボンド荷重 F_{req} (N) の調整を行うのかを判断する。入力部63は、ボンド荷重 F_{req} (N) のデータが入力されており、圧電素子16への供給電力 $P_{ower_{req}}$ (m) が入力されていない場合には、圧電素子16への供給電力 $P_{ower_{req}}$ (mW) の調整を行うと判断して図3のステップS103に進む。逆に、圧電素子16への供給電力 $P_{ower_{req}}$ (m) が入力されており、ボンド荷重 F_{req} (N) のデータが入力されていない場合には、ボンド荷重 F_{req} (N) の調整を行うと判断して図3のステップS105に進む。

[0044] 入力部63は、図3のステップS103において、入力された、超音波ホーン14の共振周波数 f_r (kHz)、ボンド荷重 F_{req} (N)、形状寸法 a 、ボンディングパッドの材質 b 、ボンディングスピード c 、接合部温度 d 、係数 B を第1演算ブロック61に出力する。第1演算ブロック61は、入力部63から入力されたデータを用いて、式(2)により係数 A を計算し、式(1)により圧電素子への供給電力 $P_{ower_{req}}$ (mW) を算出して制御部

50に出力する。

[0045] 図3のステップS104に示すように、制御部50は、圧電素子16への供給電力 $Power$ (mW)が第1演算ブロック61から入力された圧電素子16への供給電力 $Power_{req}$ (mW)となるように、圧電素子ドライバ44を調整して圧電素子16に供給する電力を調整する。

[0046] また、入力部63は、図3のステップS105において、入力された、超音波ホーン14の共振周波数 f_r (kHz)、圧電素子16への供給電力 $Power_{req}$ (mW)、形状寸法 a 、ボンディングパッドの材質 b 、ボンディングスピード c 、接合部温度 d 、係数 B を第2演算ブロック62に出力する。第2演算ブロック62は、入力部63から入力されたデータを用いて、式(2)により係数 A を計算し、式(3)によりボンド荷重 F_{req} (N)を算出して制御部50に出力する。

[0047] 図3のステップS106に示すように、制御部50は、ボンド荷重 F (N)が第2演算ブロック62から入力されたボンド荷重 F_{req} (N)となるように、モータドライバ42を調整してZ方向モータ30に供給する電流を調整する。電流の調整は、例えば、電流値とボンド荷重 F との関係を規定したマップをメモリ53の内部に格納しておき、このマップに基づいて電流値を調整するようにしてもよい。

[0048] <本実施形態のワイヤボンディング装置の効果>

以上説明したように、本実施形態のワイヤボンディング装置100は、超音波ホーン14の共振周波数 f_r (kHz)に基づいて、ボンド荷重 F_{req} (N)を規定した場合に圧電素子16に供給が必要な電力 $Power_{req}$ (mW)を調整する。また、超音波ホーン14の共振周波数 f_r (kHz)に基づいて、圧電素子16に供給する電力 $Power_{req}$ (mW)を規定した場合の必要ボンド荷重 F_{req} (N)を調整することができる。従って、共振周波数 f_r (kHz)の異なる超音波ホーン14を用いた場合でも、圧電素子16に供給する電力 $Power$ (mW)、あるいは、ボンド荷重 F (N)を調整し、好適にワイヤボンディングを行うことが可能となる。

[0049] <変形例>

以上、説明した実施形態では、第1演算ブロック61、第2演算ブロック62は、入力された式(2)により係数Aを計算することとして説明したが、これに限らず、例えば、形状寸法a、ボンディングパッドの材質b、ボンディングスピードc、接合部温度dと係数Aとの相関関係を規定したマップ、あるいは、表等を用いて係数Aを決定するようにしてもよい。また、ワイヤボンディング工程の途中で共振周波数 f_r の異なる超音波ホーン14に交換したような場合には、係数Aの数値に変化がないので、それ以前の計算で用いていた係数Aの値をそのまま用いるようにしてもよい。

[0050] また、実施形態のワイヤボンディング装置100の演算部60は、第1演算ブロック61、第2演算ブロック62の2つの演算ブロックを有することとして説明したが、1つの演算ブロックにおいて、演算プログラムを変更することにより、同様の演算を行うように構成してもよい。

[0051] また、実施形態では、演算に用いるデータは外部の入力装置から入力されることとして説明したが、これに限らず、例えば、各データを演算部60の内部のメモリに格納しておき、超音波ホーン14の共振周波数 f_r を検出する振動センサを備え、振動センサによって検出した超音波ホーン14の共振周波数 f_r を入力データとして入力部63から演算部60に入力し、メモリに格納したデータを用いて圧電素子16に供給が必要な電力 $P_{ower_{req}}$ (mW)、あるいは、ボンド荷重 F_{req} (N)を算出し、制御部50によって圧電素子16に供給する電力 P_{ower} 、あるいは、ボンド荷重 F 算出した電力を計算した電力 $P_{ower_{req}}$ (mW)、あるいは、ボンド荷重 F_{req} (N)に調整するようにしてもよい。この場合、超音波ホーン14を共振周波数 f_r が異なるものに変更した場合でも、自動的に圧電素子16に供給する電力 P_{ower} 、あるいは、ボンド荷重 F を好適な値に調整でき、自動的に好適なワイヤボンディングを実行することが可能となる。なお、超音波ホーン14の共振周波数 f_r は、制御部50が圧電素子ドライバ44に出力する交番電力の指令と同じ周波数であるから、制御部50の圧電素子ドライバ44

の制御信号を演算部 60 に入力することにより検出するようにしてもよい。

符号の説明

[0052] 10 フレーム、11 XYテーブル、12 ボンディングヘッド、13
ボンディングアーム、13a 凹部、14 超音波ホーン、14a フラ
ンジ、14b ボルト、15 キャピラリ、16 圧電素子、17 ヒート
ブロック、18 ヒータ、19 半導体ダイ、19a、20a 電極、20
基板、21 ワイヤ、21a フリーエアボール、22 トーチ電極、3
0 Z方向モータ、31 固定子、32 可動子、33 回転中心、35
回転軸、41、43 電源、42 モータドライバ、44 圧電素子ドライ
バ、50 制御部、51 機器・センサインターフェース、52 CPU、
53 メモリ、54 データバス、60 演算部、61 第1演算ブロック
、62 第2演算ブロック、63 入力部。

請求の範囲

[請求項1]

ワイヤを電極に接合するワイヤボンディング装置であって、
 圧電素子と、
 前記圧電素子によって加振され、固有の共振周波数で超音波振動する超音波ホーンと、
 前記超音波ホーンの先端に取り付けられて前記ワイヤを前記電極に押圧すると共に前記ワイヤに超音波振動を印加するキャピラリと、
 前記超音波ホーンの共振周波数に基づいて前記圧電素子に供給する電力、または、前記キャピラリが前記ワイヤを前記電極に押圧する荷重を算出する演算部と、
 前記演算部が算出した前記電力、または、前記荷重に基づいて前記圧電素子に供給する電力、または、前記キャピラリが前記ワイヤを前記電極に押圧する荷重を調整する制御部と、を有するワイヤボンディング装置。

[請求項2]

請求項1に記載のワイヤボンディング装置であって、
 前記演算部は、前記超音波ホーンの共振周波数と前記キャピラリが前記ワイヤを前記電極に押圧する荷重とに基づいて前記圧電素子に供給する電力を算出し、
 前記制御部は、前記演算部が算出した前記電力に基づいて前記圧電素子に供給する電力を調整するワイヤボンディング装置。

[請求項3]

請求項2に記載のワイヤボンディング装置であって、
 前記演算部は、前記圧電素子に供給する電力である $Power_{req}$ を下記の式(1)により算出するワイヤボンディング装置。

[数13]

$$Power_{req} = |F_{req} \cdot 2\pi f_r \cdot A e^{-Bfr}| \quad \text{--- (1)}$$

ここで、

f_r は、超音波ホーンの共振周波数である。

F_{req} は、前記キャピラリが前記電極を押圧する荷重である。

A は、形状寸法 a、ボンディングパッドの材質 b、ボンディングスピード c、接合部温度 d によって定まる係数である。

B は、前記ワイヤの材質によって決まる係数である。

[請求項4]

請求項 3 に記載のワイヤボンディング装置であって、

前記演算部は、前記 A を以下の式 (2) によって算出するワイヤボンディング装置。

[数14]

$$A=f(a, b, c, d) \quad \text{--- (2)}$$

ここで、f は、形状寸法 a、ボンディングパッドの材質 b、ボンディングスピード c、接合部温度 d の関数である。

[請求項5]

請求項 1 に記載のワイヤボンディング装置であって、

前記演算部は、前記超音波ホーンの共振周波数と前記圧電素子に供給する電力とに基づいて前記キャピラリが前記ワイヤを前記電極に押圧する荷重を算出し、

前記制御部は、前記演算部が算出した前記荷重に基づいて前記キャピラリが前記ワイヤを前記電極に押圧する荷重を調整するワイヤボンディング装置。

[請求項6]

請求項 5 に記載のワイヤボンディング装置であって、

前記演算部は、前記キャピラリが前記ワイヤを前記電極に押圧する荷重である F_{req} を下記の式 (3) により算出するワイヤボンディング装置。

[数15]

$$F_{req} = | \text{Power}_{req} / 2\pi f_r \cdot A e^{-Bfr} | \quad \text{--- (3)}$$

ここで、

f_r は、超音波ホーンの共振周波数である。

$Power_{req}$ は、前記圧電素子に供給する電力である。

A は、形状寸法 a、ボンディングパッドの材質 b、ボンディングスピード c、接合部温度 d によって定まる係数である。

B は、前記ワイヤの材質によって決まる係数である。

[請求項7]

請求項 6 に記載のワイヤボンディング装置であって、

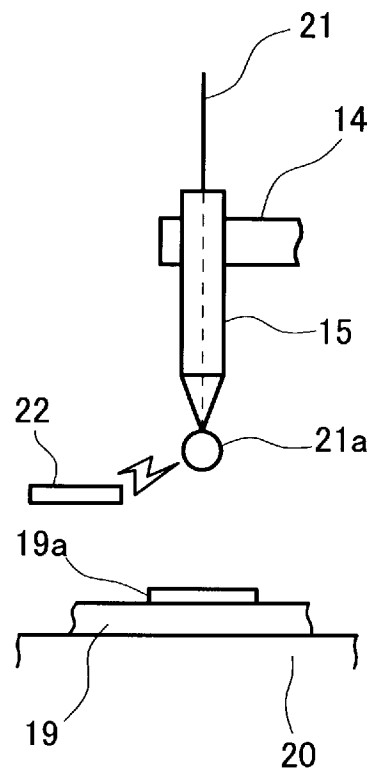
前記演算部は、前記 A を以下の式 (2) によって算出するワイヤボンディング装置。

[数16]

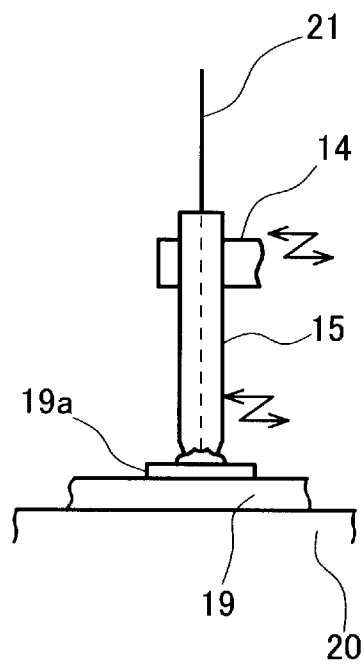
$$A=f(a, b, c, d) \quad \text{--- (2)}$$

ここで、f は、形状寸法 a、ボンディングパッドの材質 b、ボンディングスピード c、接合部温度 d の関数である。

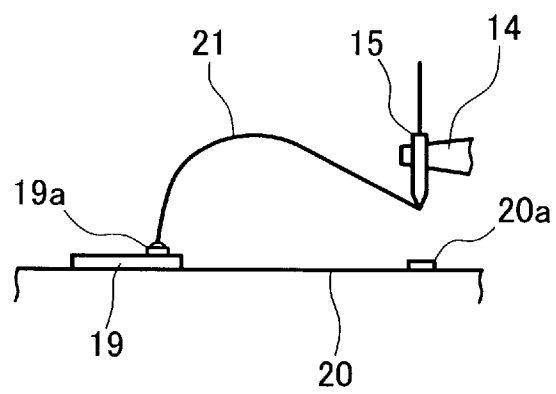
[図2A]



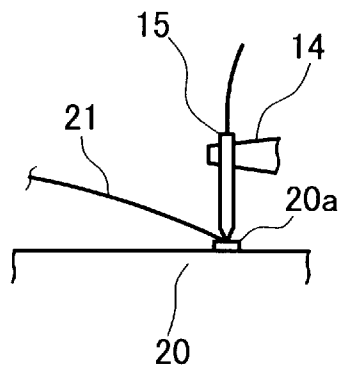
[図2B]



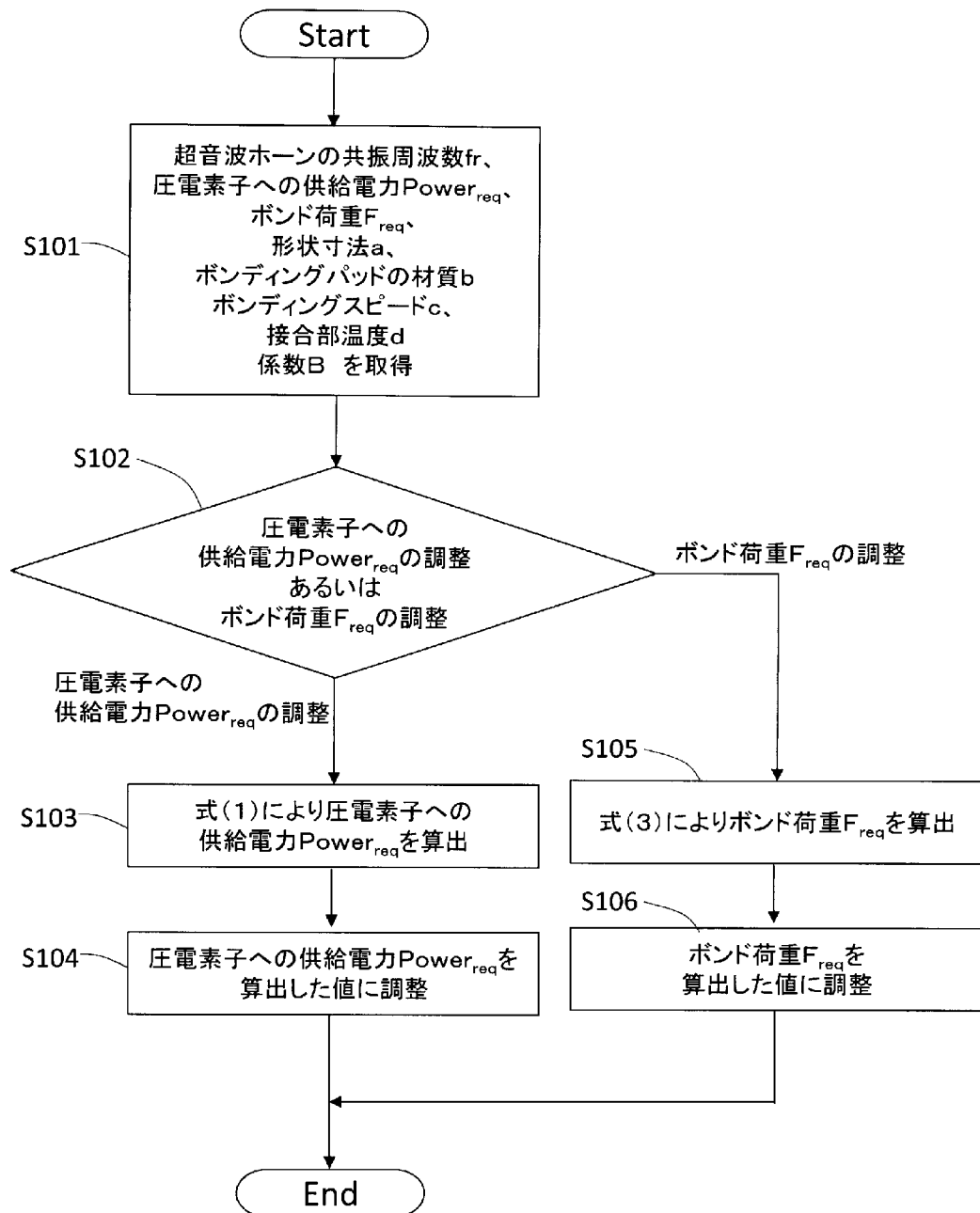
[図2C]



[図2D]



[図3]



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2018/003450

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

Int.Cl. H01L21/60 (2006.01) i, B06B1/06 (2006.01) i, H01L21/607 (2006.01) i

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

Int.Cl. H01L21/60, B06B1/06, H01L21/607

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Published examined utility model applications of Japan	1922-1996
Published unexamined utility model applications of Japan	1971-2018
Registered utility model specifications of Japan	1996-2018
Published registered utility model applications of Japan	1994-2018

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	JP 6-204300 A (TEXAS INSTRUMENTS INCORPORATED) 22 July 1994, paragraphs [0010]-[0082], fig. 1-7, tables 1-5 & US 5201454 A, column 2, line 49 to column 9, line 4, fig. 1-7, tables 1-5	1-7
A	JP 2001-77156 A (MATSUSHITA ELECTRIC INDUSTRIAL CO., LTD.) 23 March 2001, paragraphs [0001]-[0025], fig. 1-4 (Family: none)	1-7
A	WO 2014/077232 A1 (SHINKAWA LTD.) 22 May 2014, paragraphs [0030]-[0072], fig. 1-3 & US 2015/0246411 A1, paragraphs [0041]-[0083], fig. 1-3 & KR 10-2015-0061659 A & CN 104813457 A	1-7

☐ Further documents are listed in the continuation of Box C.

☐ See patent family annex.

* Special categories of cited documents:

"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance

"E" earlier application or patent but published on or after the international filing date

"L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)

"O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means

"P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

"I" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention

"X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone

"Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art

"&" document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search
20 March 2018 (20.03.2018)

Date of mailing of the international search report
03 April 2018 (03.04.2018)

Name and mailing address of the ISA/
Japan Patent Office
3-4-3, Kasumigaseki, Chiyoda-ku,
Tokyo 100-8915, Japan

Authorized officer

Telephone No.

A. 発明の属する分野の分類（国際特許分類（IPC））

Int.Cl. H01L21/60(2006.01)i, B06B1/06(2006.01)i, H01L21/607(2006.01)i

B. 調査を行った分野

調査を行った最小限資料（国際特許分類（IPC））

Int.Cl. H01L21/60, B06B1/06, H01L21/607

最小限資料以外の資料で調査を行った分野に含まれるもの

日本国実用新案公報	1922-1996年
日本国公開実用新案公報	1971-2018年
日本国実用新案登録公報	1996-2018年
日本国登録実用新案公報	1994-2018年

国際調査で使用した電子データベース（データベースの名称、調査に使用した用語）

C. 関連すると認められる文献

引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求項の番号
X	JP 6-204300 A（テキサス インスツルメンツ インコーポレイテツ ド）1994.07.22, 段落[0010]-[0082], 図1-7, 表1-5 & US 5201454 A, 第2欄第49行-第9欄第4行, 図1-7, 表1-5	1-7
A	JP 2001-77156 A（松下電器産業株式会社）2001.03.23, 段落[0001]-[0025], 図1-4 （ファミリーなし）	1-7

☒ C欄の続きにも文献が列挙されている。

☐ パテントファミリーに関する別紙を参照。

* 引用文献のカテゴリー

「A」特に関連のある文献ではなく、一般的技術水準を示すもの
「E」国際出願日前の出願または特許であるが、国際出願日以後に公表されたもの
「L」優先権主張に疑義を提起する文献又は他の文献の発行日若しくは他の特別な理由を確立するために引用する文献（理由を付す）
「O」口頭による開示、使用、展示等に言及する文献
「P」国際出願日前で、かつ優先権の主張の基礎となる出願

の日の後に公表された文献

「T」国際出願日又は優先日後に公表された文献であって出願と矛盾するものではなく、発明の原理又は理論の理解のために引用するもの
「X」特に関連のある文献であって、当該文献のみで発明の新規性又は進歩性がないと考えられるもの
「Y」特に関連のある文献であって、当該文献と他の1以上の文献との、当業者にとって自明である組合せによって進歩性がないと考えられるもの
「&」同一パテントファミリー文献

国際調査を完了した日

20.03.2018

国際調査報告の発送日

03.04.2018

国際調査機関の名称及びあて先

日本国特許庁（ISA/J P）

郵便番号100-8915

東京都千代田区霞が関三丁目4番3号

特許庁審査官（権限のある職員）

堀江 義隆

50

8396

電話番号 03-3581-1101 内線 3559

C (続き) . 関連すると認められる文献		
引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求項の番号
A	WO 2014/077232 A1 (株式会社新川) 2014.05.22, 段落[0030]-[0072], 図 1-3 & US 2015/0246411 A1, 段落[0041]-[0083], 図 1-3 & KR 10-2015-0061659 A & CN 104813457 A	1-7