明　細　書

発明の名称 ： ワイヤボンディング装置及び半導体装置の製造方法

技術分野

[0001] 本発明は、キャピラリを用いてワイヤボンディングを行うワイヤボンディング装置及び半導体装置の製造方法に関する。

背景技術

[0002] ワイヤボンディング装置は、例えば、基板のリードと半導体チップのパッドとの間を細線のワイヤで接続するために用いられる。ワイヤボンディングは、次のようにして行われる。すなわち、ワイヤボンディング用のツールと共にワイヤをリードに向かって下降させる。最初は高速で下降させ、リードに近づいたら低速にする。この低速下降は第１サーチ（１ｓｔサーチ）と呼ばれる。そして、ツール先端でワイヤをリードに押し付け、超音波振動を加えながら両者を接合させて第１ボンド（１ｓｔボンド）とする。第１ボンドの後はツールを引き上げてワイヤを延出し、適当なループを形成しながらパッドの上方に移動する。パッドの上方に来るとツールを下降させる。最初は高速で下降させ、パッドに近づいたら低速にする。この低速下降が第２サーチ（２ｎｄサーチ）である。そして、ツール先端でワイヤをパッドに押し付け、超音波振動を加えながら両者を接合させて第２ボンド（２ｎｄボンド）を行う。第２ボンドの後は、ワイヤクランパでワイヤの移動を止めながらツールを引き上げてワイヤを第２ボンド点のところで切断する。これを繰り返して、基板の複数のリードと半導体チップの複数のパッドとの間の接続が行われる。なお、第１ボンド、第２ボンドのときに、適当な加熱を行ってもよい。なお、パッドについて第１ボンドを行い、リードについて第２ボンドを行うものとしてもよい。

[0003] このように、ワイヤボンディングにおいては第１ボンドと第２ボンドの２つの接合が行われるが、この第１ボンドや第２ボンドが正常に行われないことがある。また、第１ボンドが不十分で第２ボンドに移るループ形成の段階

等でリードからワイヤが剥がれることがあり、また、第１ボンドが正常でもループ形成の途中でワイヤが切断されてしまうこともある。これらの現象をまとめて不着と呼ぶことにすると、不着検出を早期に行う必要がある。不着検出には、基板側とツールのワイヤ側との間に電圧を印加し、あるいは電流を流して、その間の抵抗成分、ダイオード成分、容量成分が正常か否かで判断することが行われる（例えば、特許文献１，２）。

[0004] ところで、ワイヤボンディングの方式としては、ボールボンディング方式とウェッジボンディング方式が知られている。

[0005] ボールボンディング方式は、高電圧スパーク等でＦＡＢ（Ｆｒｅｅ　Ａｉｒ　Ｂａｌｌ）を形成できる金線等を用い、ツールとしては、その長手方向軸の周りについて回転対称形のチャンファ部を先端に有するキャピラリを用いる。ここでは、ワイヤの先端の方向に関わらずＦＡＢを方向性のない球形とするために、ワイヤ先端を囲むようにリング状とした高電圧放電電極を用いることが提案されている（例えば、特許文献３）。

[0006] ウェッジボンディング方式は、アルミニウム線等を用いてＦＡＢを形成せず、ボンディング用のツールとしてキャピラリではなく、ワイヤガイドと押圧面を先端に有するウェッジボンディング用のツールを用いる。ウェッジボンディングでは、ツール先端において、ワイヤガイドに沿ってワイヤを斜めに押圧面側に出し、押圧面でワイヤ側面をボンディング対象物に押し付けてボンディングする。したがって、ツールの先端で押圧面からワイヤが横向きに出る形となり、ツールの先端はその長手方向軸の周りについて回転対称形になっていない（例えば、特許文献４）。

[0007] ウェッジボンディング用のツールの先端は回転対称形になっていないので、パッド、リードの配置によっては、そのままではワイヤガイドの方向がワイヤの接続方向と合わないことが生じる。そのために、ツールを保持するボンディングヘッドを回転式にし（例えば、特許文献５）、あるいは、ボンディング対象物を保持するボンディングステージを回転することが行われる。そこで、先端が回転対称形であるキャピラリを用い、キャピラリ先端でワイ

ヤ側面を押圧して接合する方法が提案されている（例えば特許文献６）。

先行技術文献

特許文献

[0008] 特許文献1：特許第３３３５０４３号公報

特許文献2：特開２０００－３０６９４０号公報

特許文献3：特許第２８１７３１４号公報

特許文献4：特開昭５８－９３３２号公報

特許文献5：特開昭５５－７４１５号公報

特許文献6：米国特許出願公開第２００５／０１６７４７３号明細書

発明の概要

発明が解決しようとする課題

[0009] ウェッジボンディング方式では、金線に比べて延伸性が小さいアルミニウムワイヤを用いる。そこで、第１ボンド点におけるワイヤボンディングが正常に行われた後で第２ボンド点におけるワイヤボンディングが不十分で不着となり、そのままワイヤをクランプしてワイヤ切断が行われると、第１ボンド点と第２ボンド点との間のループのところでワイヤが切断されることが生じ得る。

[0010] ワイヤの不着や切断は、ボンディング対象物とワイヤとの間に電気信号を与えてその応答から判断できる。しかし、第２ボンド点におけるワイヤボンディングの不着判断が行われる前に、第１ボンド点と第２ボンド点との間のループのところでワイヤが切断されると、ボンディング対象物とワイヤとの間に通電がない点では、第２ボンド点におけるワイヤボンディングが正常で第２ボンド点でワイヤが正常に切断された場合と同じである。したがって、第２ボンド点におけるボンディングの後で不着と切断についての判断を行うと、第２ボンド点におけるボンディングが不着で第１ボンド点と第２ボンド点との間のループのところでワイヤが切断された場合を、第２ボンド点におけるボンディングが正常でワイヤの切断も正常に行われた、と誤判断するこ

とになる。

[0011] 第２ボンド点におけるボンディングが不着で第１ボンド点と第２ボンド点との間のループのところでワイヤが切断されると、ボンディング用のツールの先端から長いワイヤが突き出る状態となる。この状態が、第２ボンド点におけるワイヤボンディングが正常と誤判断されると、この状態のまま、次のボンディング処理が行われる。つまり、ボンディング用のツールの先端から長いワイヤが突き出る状態で、次の第１ボンド点におけるワイヤボンディングが行われることになり、不良品が発生する。このように、第２ボンド点におけるボンディングが正常か否かについて誤判断が生じると、不良品発生の原因となる。

[0012] 本発明の目的は、第２ボンド点におけるボンディングが正常か否かについて、的確な判断を行うことができるワイヤボンディング装置及び半導体装置の製造方法を提供することである。

課題を解決するための手段

[0013] 本発明に係るワイヤボンディング装置は、ワイヤを挿通するキャピラリと、キャピラリと同軸に配置される円環状のワイヤ突出長検出リングと、ワイヤ突出長検出リングとワイヤとの間に所定の検査電圧を印加したときの通電の有無の検出に基づき、キャピラリの先端から突き出るワイヤの突出長の適不適を判定する突出長判定部と、を備える。

[0014] また、本発明に係るワイヤボンディング装置は、通電は、ワイヤ突出長検出リングとワイヤとの間に所定の検査電圧を印加して非導通状態であると検出したならば、ワイヤ突出長検出リングとワイヤとの間に所定の検査高電圧を印加して放電スパークの有無の検出をするとしても好適である。

[0015] また、本発明に係るワイヤボンディング装置は、突出長判定部は、ワイヤの突出長と検査高電圧とスパークの有無に関する検出関係を予め求めておき、ワイヤボンディングのボンディング条件に応じて検査高電圧を設定し、ボンディング条件に適したワイヤの突出長か否かを判定するとしても好適である。

[0016] また、本発明に係るワイヤボンディング装置は、第１ボンド点におけるワイヤボンディングに引き続き第２ボンド点におけるワイヤボンディングを行った後、ワイヤをクランプ状態としてキャピラリを移動することでワイヤを第２ボンド点から切断する処理を行った後に、ボンディング対象物とクランプ状態のワイヤとの間に所定の電気信号を印加し、その応答に基づいてワイヤが切断されたか否かを判定する切断判定部を備え、突出長判定部は、切断判定部においてワイヤが切断されていると判定した場合に、ワイヤの突出長の適不適を判定し、ワイヤの突出長が不適のときに、第１ボンド点におけるボンディングが行われず、第１ボンド点と第２ボンド点との間でワイヤが切断されたとして異常信号を出力するとしても好適である。

[0017] また、本発明に係るワイヤボンディング装置は、ワイヤの突出長が不適と判定されたとき、予め定めた捨てボンド点を用いて、ワイヤの切断された先端部分を適切な突出長にする捨てボンド処理部を備えるとしても好適である。

[0018] また、本発明に係るワイヤボンディング装置は、第１ボンド点および第２ボンド点におけるワイヤボンディングは、ウェッジボンディング方式で行われるとしても好適である。

[0019] また、本発明に係る半導体装置の製造方法は、ワイヤボンディングの第１ボンド点において、ワイヤを挿通するキャピラリを用いてウェッジボンディング方式で第１ボンディング対象物とワイヤとの間を接合する第１ワイヤボンディング処理工程と、第１ボンド点におけるワイヤボンディングの後、第１ボンド点から所定のワイヤ長でワイヤを延出し、ワイヤボンディングの第２ボンド点において、第２ボンディング対象物とワイヤとの間を接合する第２ワイヤボンディング処理工程と、第２ボンド点におけるワイヤボンディングの後、ワイヤを第２ボンド点から切断するために、ワイヤをクランプ状態として、ワイヤを挿通しているキャピラリを移動する移動処理工程と、ワイヤの切断のためのキャピラリの移動を行った後に、第２ボンディング対象物とワイヤとの間に所定の電気信号を印加し、その応答に基づいてワイヤが切

断されたか否かを判定する切断判定処理工程と、ワイヤが切断されていると判定した場合に、キャピラリと同軸に配置される円環状のワイヤ突出長検出リングとワイヤとの間に所定の検査電圧を印加したときの通電の有無の検出に基づき、キャピラリの先端から突き出るワイヤの突出長の適不適を判定する突出長判定工程と、ワイヤの突出長が不適のときに、第２ボンド点におけるボンディングを行わず、第１ボンド点と第２ボンド点との間でワイヤが切断されたとして異常信号を出力する出力処理工程と、を有する。

[0020] また、本発明に係る半導体装置の製造方法は、通電は、ワイヤ突出長検出リングとワイヤとの間に所定の検査電圧を印加して非導通状態であると検出したならば、ワイヤ突出長検出リングとワイヤとの間に所定の検査高電圧を印加して放電スパークの有無の検出をするとしても好適である。

[0021] また、本発明に係る半導体装置の製造方法は、ワイヤの突出長が不適と判定されたとき、予め定めた捨てボンド点を用いて、ワイヤの切断された先端部分を適切な突出長にする捨てボンド処理工程を有するとしても好適である。

発明の効果

[0022] 本発明に係るワイヤボンディング装置及び半導体装置の製造方法によれば、第２ボンド点におけるボンディングが正常か否かについて、正しい判断を行うことができる。

図面の簡単な説明

[0023] [図1]本発明の実施の形態のワイヤボンディング装置の構成図である。

[図2]本発明の実施の形態のワイヤボンディング装置における切断判定回路を示す図である。

[図3]本発明の実施の形態のワイヤボンディング装置および方法において、第２ボンド点のワイヤボンディングが正常か否かについ誤判断が生じ得ることを説明する図である。

[図4]ワイヤボンディングにおいて短く低いループ形成の場合に、図３の誤判断が生じやすいことを示す図である。

[図5]図４との比較で、ワイヤボンディングにおいて長く高いループ形成の場合に、図３の誤判断が生じにくいことを示す図である。

[図6]本発明の実施の形態のワイヤボンディング装置における突出長判定回路を示す図である。

[図7]本発明の実施の形態のワイヤボンディング装置において、ワイヤの突出長と検査高電圧とスパーク有無に関する検出関係を示す図である。

[図8]本発明の実施の形態の半導体装置の製造方法としてのワイヤボンディングの手順を示すフローチャートである。

[図9]図８のフローチャートにおいて、ワイヤの切断判定と通電の有無検出と放電スパークの有無検出の３段階で第２ボンド点における不着判定を行うことを示す図である。

[図10]図８のフローチャートにおいて、第２ボンド点のワイヤボンディングが正常のときに放電スパークが生じないことを示す図である。

[図11]図８のフローチャートにおいて、ワイヤの突出長が不適切なときに放電スパークが生じることを示す図である。

[図12]本発明の実施の形態のワイヤボンディング装置において、捨てボンド点で捨てボンド処理が行われることを示す図である。

[図13]捨てボンド点の直上にキャピラリを移動させることを示す図である。

[図14]図１３の次に、捨てボンドが行われることを示す図である。

[図15]図１４の次に、捨てボンド点においてワイヤを切断することを示す図である。

発明を実施するための形態

[0024] 以下に図面を用いて本発明に係る実施の形態を詳細に説明する。以下において、ワイヤボンディングの対象物として、第１ボンド点では回路基板のリード、第２ボンド点では半導体チップのパッドとして述べるが、これは説明のための例示であって、第１ボンド点を半導体チップのパッドとし、第２ボンド点を回路基板のリードとしてもよい。第１ボンド点と第２ボンド点をともに半導体チップのパッドとしてもよく、第１ボンド点と第２ボンド点をと

もに回路基板のリードとしてもよい。パッド、リードはワイヤが接合される対象物の例示であって、これ以外のものであってもよい。また、ボンディングの対象物としては、半導体チップの他、抵抗チップ、コンデンサチップ等の一般的な電子部品でもよく、回路基板としては、エポキシ樹脂基板等の他、リードフレーム等であってもよい。

[0025] 以下で述べる寸法、材質等は、説明のための例示であって、ワイヤボンディング装置の仕様に応じ、適宜変更が可能である。

[0026] 以下では、全ての図面において一または対応する要素には同一の符号を付し、重複する説明を省略する。

[0027] 図１は、ワイヤボンディング装置１０の構成図である。このワイヤボンディング装置１０は、ワイヤボンディング用のツールとしてキャピラリ２８を用い、ワイヤ３０としてアルミニウム線を用い、ウェッジボンディング方式で、２つのボンディング対象物をワイヤ３０で接続する装置である。図１では、ワイヤボンディング装置１０の構成要素ではないが、ボンディング対象物としての半導体チップ６と回路基板８が示されている。なお、本発明の実施の形態において、ウェッジボンディング方式とは、ワイヤ先端にＦＡＢを形成せず、超音波、圧力を用いて行うボンディング方式をいう。

[0028] ワイヤボンディング装置１０は、架台１２に保持されるボンディングステージ１４と、ＸＹステージ１６と、コンピュータ６０を含んで構成される。

[0029] ボンディングステージ１４は、２つのボンディング対象物である半導体チップ６と回路基板８とを搭載するボンディング対象物保持台である。ボンディングステージ１４は、回路基板８等を搭載または排出する際に、架台１２に対して移動可能であるが、ボンディング処理の間は架台１２に対し固定状態とされる。かかるボンディングステージ１４としては、金属製の移動テーブルを用いることができる。ボンディングステージ１４は、ワイヤボンディング装置１０の接地電位等の基準電位に接続される。ボンディングステージ１４は、後述する不着判定回路３６の接地側端子に接続される。半導体チップ６や回路基板８との間の絶縁が必要な場合には、ボンディングステージ１

４の必要な部分に絶縁処理が設けられる。

[0030] 半導体チップ６は、シリコン基板にトランジスタ等を集積化して電子回路としたもので、電子回路としての入力端子と出力端子等が半導体チップ６の上面に複数のパッド（図示せず）として引き出されている。半導体チップ６の下面はシリコン基板の裏面で、電子回路の接地電極とされる。

[0031] 回路基板８は、エポキシ樹脂基板に所望の配線をパターニングしたもので、半導体チップ６の下面を電気的および機械的に接続して固定するチップパッド（図示せず）と、その周囲に配置される複数のリード（図示せず）と、チップパッドや複数のリードから引き出された回路基板としての入力端子と出力端子を有する。ワイヤボンディングは、半導体チップ６のパッドと、回路基板８のリードとの間をワイヤ３０で接続することで行われる。

[0032] ボンディングステージ１４に設けられるウィンドクランパ５０は、中央部に開口を有する平板状の部材で、回路基板８を保持する部材である。ウィンドクランパ５０は、中央部の開口の中にワイヤボンディングが行われる回路基板８のリードと半導体チップ６とが配置されるように位置決めして、開口の周縁部で回路基板８を押さえることで、回路基板８をボンディングステージ１４に固定する。

[0033] 後述するようにワイヤ３０の突出長が不適切に切断されたときに、次の工程のために捨てボンド処理が行われる。

[0034] ＸＹステージ１６は、ボンディングヘッド１８を搭載し、架台１２およびボンディングステージ１４に対し、ボンディングヘッド１８をＸＹ平面内の所望の位置に移動させる移動台である。ＸＹ平面は、架台１２の上面と平行な平面である。Ｙ方向は、後述するボンディングアーム（図示せず）に取り付けられた超音波トランスデューサ２４の長手方向に平行な方向である。図１に、Ｘ方向、Ｙ方向と、ＸＹ平面に垂直な方向であるＺ方向を示した。

[0035] ボンディングヘッド１８は、ＸＹステージ１６に固定されて搭載され、Ｚモータ２０を内蔵し、その回転制御によってＺ駆動アーム２２、超音波トランスデューサ２４を介して、キャピラリ２８をＺ方向に移動させる移動機構

である。Ｚモータ２０としては、リニアモータを用いることができる。

[0036] Ｚ駆動アーム２２は、超音波トランスデューサ２４と、ワイヤクランパ３２とが取り付けられ、Ｚモータ２０の回転制御によって、ボンディングヘッド１８に設けられる回転中心の周りに回転可能な部材である。ボンディングヘッド１８に設けられる回転中心は、必ずしもＺモータ２０の出力軸ではなく、Ｚ駆動アーム２２、超音波トランスデューサ２４、ワイヤクランパ３２を含めた全体の重心位置を考慮し、回転負荷が軽減される位置に設定される。

[0037] 超音波トランスデューサ２４は、根元部がＺ駆動アーム２２に取り付けられ、先端部にワイヤ３０を挿通するキャピラリ２８が取り付けられる細長い棒部材である。超音波トランスデューサ２４には超音波振動子２６が取り付けられ、超音波振動子２６を駆動することで発生する超音波エネルギをキャピラリ２８に伝達する。したがって、超音波トランスデューサ２４は、超音波振動子２６からの超音波エネルギを効率よくキャピラリ２８に伝達できるように、先端側に行くほど先細りとなるホーン形状に形成される。超音波振動子２６としては、圧電素子が用いられる。

[0038] キャピラリ２８は、先端面が平らな円錐体で、ワイヤ３０を長手方向に沿って挿通させることができる貫通孔を中心部に有するボンディングツールである。かかるキャピラリ２８としては、ボールボンディングに用いられるセラミック製のキャピラリをそのまま用いることができる。ボールボンディングに用いられるキャピラリは、ＦＡＢを保持しやすいように、貫通孔の先端面側に適当なチャンファと呼ばれる隅部形状が設けられているが、本実施の形態のウェッジボンディング方式では、ボールボンディング用のキャピラリを用い、このキャピラリの貫通孔の先端面側の下面にフェイスと呼ばれる平面を備える。このフェイスが、ワイヤボンディング装置１０においてウェッジボンディングを行うときの押圧面となる。

[0039] ウェッジボンディング用のツールは、先端部に、長手方向に対し斜めに設けられるワイヤガイドと、ワイヤの側面を押圧するための押圧面を有するの

で、ツールの長手方向軸の周りに回転対称でなく、ワイヤは、ワイヤガイドの方向に沿った方向性を有して横方向に突き出す。このようなウェッジボンディング用のツールを用いると、リード、パッドの配置によっては、そのままではワイヤガイドの方向がワイヤの接続方向と合わないことが生じる。

[0040] 例えば、回路基板８の中央部に半導体チップ６が搭載され、半導体チップ６の周辺部に沿って一周するように複数のパッドが配置され、回路基板８にも、半導体チップ６の外側に沿って一周するように複数のリードが設けられる場合には、リードとパッドとを結ぶワイヤの接続方向が複数のワイヤボンディングのそれぞれによって異なる。ワイヤガイドの方向をワイヤの接続方向に合わせるには、ウェッジボンディング用のツールを長手方向軸の周りに回転させるか、回路基板８を回転させる必要がある。

[0041] これに対し、キャピラリ２８の先端面側のフェイスは、キャピラリ２８の長手方向軸の周りに回転対称の形状であるので、パッドとリードとを結ぶワイヤの接続方向が各ワイヤボンディングごとに異なっても、キャピラリ２８の先端から突き出るワイヤ３０の方向を少し変更する整形処理を行うだけで済む。このため、ウェッジボンディングにキャピラリ２８を用いる。

[0042] キャピラリ２８に挿通されるワイヤ３０は、アルミニウムの細線である。ワイヤ３０は、ボンディングヘッド１８から延びるワイヤホルダの先端に設けられるワイヤスプール３３に巻回され、ワイヤスプール３３からワイヤクランパ３２を介してキャピラリ２８の中心部の貫通孔に挿通されて、キャピラリ２８の先端から突き出る。かかるワイヤ３０の材質としては、純アルミニウム細線の他に、シリコン、マグネシウム等を適当に混合させた細線等を用いることができる。ワイヤ３０の直径は、ボンディング対象物によって選択することができる。ワイヤ３０の直径の一例を挙げると、３０μｍである。

[0043] ワイヤクランパ３２は、Ｚ駆動アーム２２に取り付けられ、ワイヤ３０の両側に配置される１組の挟み板で、向かい合う挟み板の間を開くことでワイヤ３０を自由移動状態とし、向かい合う挟み板の間を閉じることで、ワイヤ

３０の移動を停止させるワイヤ挟み装置である。ワイヤクランパ３２は、Ｚ駆動アーム２２に取り付けられるので、キャピラリ２８がＸＹＺ方向に移動しても、ワイヤ３０を適切に挟むことができる。ワイヤクランパ３２の開閉は、圧電素子を用いたクランパ開閉部３４の作動によって行われる。

[0044] 不着判定回路３６は、ワイヤボンディングの各段階で、ボンディング対象物とワイヤ３０との間の接続が適切か否かを判定する回路である。不着判定回路３６は、ボンディング対象物とワイヤ３０との間に所定の電気信号を印加し、その応答に基づいて、ボンディング対象物とワイヤ３０との間の接続が適切か否かを判定する。

[0045] ワイヤボンディングの各段階としては、回路基板８のリードから半導体チップ６のパッドへワイヤ３０を接続する場合、回路基板８のリードを第１ボンド点とし、半導体チップ６のパッドを第２ボンド点として、第１ボンド点にワイヤ３０を接続する第１ワイヤボンディング処理工程と、第１ボンド点から第２ボンド点に向かってワイヤ３０を延出してループを形成するループ形成処理工程と、第２ボンド点にワイヤ３０を接続する第２ワイヤボンディング処理工程と、第２ワイヤボンディング処理の後、第２ボンド点においてワイヤ３０を切断するためにキャピラリ２８を移動させる移動処理工程がある。

[0046] 不着判定回路３６は、第１ボンド点においてワイヤ３０とリードが接合しているか否か、第２ボンド点においてワイヤ３０とパッドが接合しているか否か、第２ボンド点においてワイヤ３０が切断されたか否か等を、それぞれの工程のタイミングで判定する回路である。

[0047] ここでは特に、不着判定回路３６は、第２ボンド点において第２ワイヤボンディング処理の後でワイヤ３０が切断されたか否かを判定する。その意味で、不着判定回路３６は、切断判定回路と呼ぶことができる。

[0048] 図２は、不着判定回路３６が切断判定回路として機能するときを示す図である。図２では、第１ワイヤボンディング処理工程で、第１ボンド点１００において適切にワイヤボンディングが行われたことが確認され、その後、ワ

イヤ３０のループ形成処理工程を経て、第２ワイヤボンディング処理工程に移行し、第２ワイヤボンディング処理工程も第２ボンド点１０２において適切にワイヤボンディングが行われたことが確認され、次に、キャピラリ２８の移動処理工程が行われ、第２ボンド点１０２において、ワイヤ３０が切断状態１０４となっていることを示す図である。

[0049] 不着判定回路３６は、印加電源１０６と測定部１０８から構成され、一方端子はボンディングステージ１４に接続され、他方端子は、ワイヤクランパ３２またはワイヤスプール３３に接続される。印加電源１０６を直流電圧電源として、測定部１０８の内部に図示しないインピーダンス測定回路によりインピーダンス値を測定することで、ワイヤ３０とボンディングステージ１４の間の抵抗成分が分かる。印加電源１０６を交流電圧電源として、測定部１０８の内部に図示しないインピーダンス測定回路によりインピーダンス値を測定することで、ワイヤ３０とボンディングステージ１４の間の容量成分が分かる。

[0050] ワイヤボンディングにおいて、直流または交流による着・不着の検査は、対象となるデバイスにより異なり、また同一デバイスであってもパッドごとに異なる。直流電圧電源を印加する場合で、ワイヤ３０が半導体チップ６のパッドと接続状態（着状態）にあるときは、抵抗成分が有限値となる。交流電圧電源を印加する場合は、ワイヤ３０が半導体チップ６のパッドと接続状態（着状態）にあるときと非接続状態（不着状態）にあるときとでは容量成分に大きな差が発生する。交流電圧電源を印加して、ワイヤ３０が半導体チップ６のパッドと接続状態（着状態）にあるときは、非接続状態（不着状態）に比べて大きな容量成分となる。一方、直流電圧電源を印加する場合で、ワイヤ３０が切断状態１０４のときは、ワイヤ３０とボンディングステージ１４との間が電気的に開放状態になるので、抵抗成分が無限大になる。また、交流電圧電源を印加する場合で、ワイヤ３０が半導体チップ６のパッドと切断状態（不着状態）にあるときは、接続状態（着状態）に比べ小さい容量成分となる。このように、測定部１０８における抵抗成分または容量成分の

変化に基づいて、不着判定回路３６は、ワイヤ３０とボンディングステージ１４との間が接続状態か開放状態かを判定でき、これによってワイヤ３０が切断状態１０４であるか否かを判定することができる。

[0051] 突出長判定回路３８と突出長検出リング４０は、不着判定回路３６において、ワイヤ３０が切断状態であると判断されたときに、その切断状態が、図２で説明したように、第２ボンド点１０２におけるワイヤボンディングが正常で、ワイヤ３０が第２ボンド点１０２において切断されたものであるか否かを判断するために設けられる。

[0052] これは、第２ワイヤボンディング処理が不適切でワイヤ３０が第２ボンド点１０２において不着状態であって、ワイヤ３０が第１ボンド点１００と第２ボンド点１０２の間で切断されても、ワイヤ３０とボンディングステージ１４との間は開放状態であるので、不着判定回路３６は、ワイヤ３０が着状態の第２ボンド点１０２において切断されたと誤判定してしまう可能性があるからである。

[0053] これについて、図３を用いて説明する。図３は、不着判定回路３６の判定のタイミングとワイヤ切断のタイミングによっては、不着判定回路３６の結果をそのまま受け取ると、誤判定が生じ得ることを説明する図である。

[0054] 図３（ａ）から（ｃ）は、第２ボンド点１０２における第２ワイヤボンディング処理が正常に行われ、切断のための移動処理によってワイヤ３０が第２ボンド点１０２で正常に切断された場合を示す図である。

[0055] 図３（ａ）は、時間ｔ＝t_0で第２ボンド点１０２における第２ワイヤボンディング処理が終了し、キャピラリ２８が＋Ｚ方向に少し上昇した状態を示している。ここでは、第２ワイヤボンディング処理が正常に行われ、第２ボンド点１０２でワイヤ３０と半導体チップ６のパッドとの間が正常に接合されている。図３（ｂ）は、時間ｔ＝t_1で、キャピラリ２８がワイヤ切断のためにＸＹ平面内で所定の移動を行った状態を示している。所定の移動として、ここでは、キャピラリ２８が＋Ｘ方向にX_1移動した状態が示されている。このｔ＝t_1で、第２ボンド点１０２のところでワイヤ３０が正常に切断状態

１０３となっている。図３（ｃ）は、キャピラリ２８がさらに＋Ｘ方向にX_3の位置まで移動した後の時間ｔ＝t_4の状態を示す図である。

[0056] この場合、第２ボンド点１０２における不着判定は、ｔ＝t_0とｔ＝t_4における不着判定回路３６の判定結果に基づいて行うことができる。すなわち、ｔ＝t_0でワイヤ３０が切断されてなく、ｔ＝t_4でワイヤ３０が切断状態であるときには、第２ボンド点１０２でワイヤ３０の接合が正常に行われ、そして第２ボンド点１０２においてワイヤ３０が正常に切断されたとし、ｔ＝t_0でワイヤ３０が切断されてなく、ｔ＝t_4でもワイヤ３０が切断されていないときは、第２ボンド点１０２でワイヤ３０が不着状態で、そのままワイヤ３０が切断されていない、と判定することができる。

[0057] 図３（ｄ）から（ｆ）は、第２ワイヤボンディング処理が不適切で第２ボンド点１０２においてワイヤ３０と半導体チップ６のパッドとの間が接合されずに不着となり、ワイヤ３０が第１ボンド点１００と第２ボンド点１０２との間で切断された場合を示す図である。

[0058] 図３（ｄ）は、（ａ）と同じく第２ワイヤボンディング処理が終了してキャピラリ２８が＋Ｚ方向に少し上がったときであるが、ここでは第２ワイヤボンディング処理が正常に行われず、ワイヤ３０と半導体チップ６のパッドが接合せず、不着状態となっている。図３（ｅ）は、第２ワイヤボンディング処理が正常に行われた際と同様に、キャピラリ２８が＋Ｘ方向にX_2だけ移動したことで、第１ボンド点１００と第２ボンド点１０２との間でワイヤ３０が切断状態１０５となったことを示す。図３（ｆ）は、キャピラリ２８が更に＋Ｘ方向にX_3の位置まで移動した後の時間ｔ＝t_4の状態を示す図である。図３（ｆ）のt_4，X_3は、図３（ｃ）と同じである。なお、X_1＜X_2＜X_3である。ここで第２ボンド点１０２は、ワイヤ３０とパッドとの間が不着となっているが、予定では第２ワイヤボンディング処理が行われる点を指す。

[0059] このときに、第２ボンド点１０２における不着判定について、ｔ＝t_0とｔ＝t_4における不着判定回路３６の判定結果に基づいて行うと、誤判定をすることになる。すなわち、ｔ＝t_0ではワイヤ３０が切断されてなく、ｔ＝t_4で

ワイヤ３０が切断状態であり、これは、図３（ａ）から（ｃ）で説明した正常処理の場合と同じ状態である。したがって、ｔ＝t_0とｔ＝t_4における不着判定回路３６の判定結果に基づいて第２ボンド点１０２における不着判定を行うと、図３（ａ）から（ｃ）の正常処理の場合と、図３（ｄ）から（ｆ）の不着の場合を区別できず、誤判定を行うことになる。

[0060] 図３（ａ）から（ｃ）の正常処理の場合と、図３（ｄ）から（ｆ）の不着の場合の相違は、ｔ＝t_1の図３（ｂ）とｔ＝t_2の図３（ｅ）である。したがって、図３（ａ）から（ｃ）の正常処理の場合と、図３（ｄ）から（ｆ）の不着の場合を不着判定回路３６で区別しようとすると、ｔ＝t_1とｔ＝t_2の間で、ワイヤ３０の切断が生じたか否かを判定する必要がある。ｔ＝t_1とｔ＝t_2は、ループ形状やカット速度等の影響を受けるので、ワイヤボンディングのパラメータ変更の都度変わることになる。ｔ＝t_1とｔ＝t_2の間が十分長ければ、不着判定回路３６は、図３（ａ）から（ｃ）の場合と図３（ｄ）から（ｆ）の場合を区別し得るが、ｔ＝t_1とｔ＝t_2の間が短いと、この２つの場合を誤判定する可能性が高くなる。

[0061] 図４は、ワイヤボンディング条件として、第１ボンド点１００と第２ボンド点１０２との間の距離が短く、その間に形成されるループの高さが低く、またループ長が短い場合である。このように短く低いループが形成される場合には、第２ボンド点１０２が不着のときに、ワイヤ３０が早めに切断されやすく、図３におけるｔ＝t_1とｔ＝t_2との差がなく、上記２つの場合を誤判定する可能性が高くなる。

[0062] 図４（ａ）は、図３（ｄ）のｔ＝t_0よりやや早めのタイミングで、第２ワイヤボンディング処理が終了してキャピラリ２８が＋Ｚ方向に少し上がりかけたときの状態である。ここでは、第２ボンド点１０２で不着状態となっている。図４（ｂ）は、ｔ＝t_1で、図４（ａ）からキャピラリ２８が＋Ｚ方向に少し上がり、Ｘ方向にX_1移動したときで、ワイヤ３０はまだ切断されていない。図４（ｃ）は、ｔ＝t_2で、キャピラリ２８は＋Ｘ方向にX_4まで移動し、ここでワイヤ３０は第１ボンド点１００と第２ボンド点１０２との間で切

断状態１０５となった。図４は、短く低いループが形成される場合であるので、図４（ｃ）に示す時刻$ｔ_2$，$Ｘ_4$は、図３（ｅ）の時刻$ｔ_2$，$Ｘ_2$より短く、小さな値であり、早い時間でワイヤ３０が切断される。

[0063] 図５は、ワイヤボンディング条件として、第１ボンド点１００と第２ボンド点１０２との間の距離が長く、その間に形成されるループの高さが高く、またループ長が長い場合である。このように長く高いループが形成される場合には、第２ボンド点１０２が不着のときでも、ワイヤ３０の切断までに時間的余裕があり、図３における$ｔ＝ｔ_1$と$ｔ＝ｔ_2$が長くなり、上記２つの場合を誤判定する可能性が低くなる。

[0064] 図５（ａ）は、$ｔ＝ｔ_0$の状態で、図４（ａ）と同じく第２ワイヤボンディング処理が終了してキャピラリ２８が＋Ｚ方向に少し上がりかけたときの状態である。ここでも第２ボンド点１０２で不着状態である。図５（ｂ）は、$ｔ＝ｔ_1$で、図４（ｂ）と同じく、図５（ａ）からキャピラリ２８が＋Ｚ方向に少し上がり、Ｘ方向に$Ｘ_1$移動したときであるが、図４（ｂ）に比べループが高く形成されている。このとき、ワイヤ３０はまだ切断されていない。図５（ｃ）は、$ｔ＝ｔ_3$で、キャピラリ２８は＋Ｘ方向に$Ｘ_5$まで移動したときである。$Ｘ＝Ｘ_5$は、図３（ｃ），（ｆ）の$ｔ＝ｔ_3$における$Ｘ＝Ｘ_3$よりも大きく、また、$ｔ＝ｔ_3$、$Ｘ＝Ｘ_5$は、図４（ｃ）の$ｔ＝ｔ_2$、$Ｘ＝Ｘ_4$よりも長く、大きな値である。ここでもワイヤ３０はまだ切断されていない。このように、長く高いループが形成される場合には、第２ボンド点１０２において不着状態であっても、ワイヤ３０が切断されるまでに時間的に余裕があり、上記２つの場合を誤判定する可能性が低くなる。なお、図３から図５に示す＋Ｘ方向への各移動距離の関係は、$Ｘ_1＜Ｘ_4＜Ｘ_2＜Ｘ_3＜Ｘ_5$の通りである。

[0065] このように、短く低いループが形成される場合ほど、不着判定回路３６は上記２つの場合を区別できなくなる。突出長判定回路３８と突出長検出リング４０は、この２つの場合を的確に区別する。

[0066] ワイヤ３０が第２ボンド点１０２で切断された場合には、キャピラリ２８の先端から突き出るワイヤ３０の突出長が短く、適切な値となる。これに対

し、ワイヤ３０が第１ボンド点１００と第２ボンド点１０２の間で切断された場合には、キャピラリ２８の先端から突き出るワイヤ３０の突出長が長く、不適切な値となる。突出長判定回路３８と突出長検出リング４０は、キャピラリ２８の先端から突き出るワイヤ３０の突出長が適切か否かを判定し、これによって、不着判定回路３６が判定できない２つの場合を区別する。

[0067] 図６は、突出長判定回路３８と突出長検出リング４０の構成を示す図である。ここでは、キャピラリ２８から突き出るワイヤテール１１０の突出長L_Tが示されている。

[0068] ボンディングヘッド１８に取り付けられる突出長検出リング４０は、キャピラリ２８と同軸に配置される円環状の部材である。突出長検出リング４０の円環状の開口部は、－Ｚ方向から＋Ｚ方向に向かって、すなわち、ボンディングステージ１４から見て上方側に向かって、最初は一定の内径で、その後、次第に内径が広がるすり鉢状の形状を有する。図６の符号を用いて説明すると、突出長検出リング４０の外径はD_0で、Ｚ方向の寸法である高さはH_Rである。－Ｚ方向の端部である底面から高さH_Iの範囲の内径はD_Iで、それより上面側に向かって、角度αの傾きで、内径が次第に大きくなる。

[0069] 突出長検出リング４０の寸法の一例を挙げると、外径D_0は約４ｍｍ、全高H_Rは約１ｍｍ、一様内径部分の高さH_Iは約０．２ｍｍ、一様内径D_Iは約２．５ｍｍ、角度αは約４５度である。かかる突出長検出リング４０は、適当な金属材料を所定の形状に加工したものを用いることができる。

[0070] 突出長検出リング４０はボンディングヘッド１８に取り付けられるので、キャピラリ２８のＸＹ平面内の移動については同じように移動するが、キャピラリ２８のＺ方向の移動に対しては固定位置を取る。すなわち、突出長検出リング４０の円環状の開口部の中心軸はキャピラリ２８の長手方向軸と一致するように配置され、キャピラリ２８は突出長検出リング４０の円環状の開口部の中心軸に沿ってＺ方向に移動する。第１ボンド点１００、第２ボンド点１０２においてワイヤボンディング処理を行っているときは、キャピラリ２８の先端は突出長検出リング４０の底面よりも－Ｚ方向にある。

[0071] 突出長判定を行うときは、キャピラリ２８は＋Ｚ方向に引き上げられる。図６では、突出長判定が行われるときのキャピラリ２８の先端位置が、突出長検出リング４０の一様内径D_I部分の上端から高さH_Gとして示されている。高さH_Gは、ワイヤ３０がキャピラリ２８の先端から突き出るワイヤテール１１０の延長した先が、突出長検出リング４０の一様内径D_I部分の高さH_Iの範囲に入るようにする。このように高さH_Gを設定することで、突出長検出リング４０とワイヤテール１１０との間の放電スパークの有無検出を的確に行うことができる。

[0072] 突出長判定回路３８は、突出長検出リング４０とワイヤ３０との間に所定の検査電圧を印加したときの通電の有無の検出およびその間に所定の検査高電圧を印加したときの放電スパークの有無の検出に基づき、キャピラリ２８の先端から突き出るワイヤテール１１０の突出長L_Tの適不適を判定する。突出長判定回路３８は、検査高電圧１１２と検出部１１４から構成され、一方端子は突出長検出リング４０に接続され、他方端子は、ワイヤクランパ３２に接続される。検査高電圧１１２は、直流電圧で、検出部１１４は、電流値を検出する。

[0073] ワイヤテール１１０の突出長L_Tが短いときは、突出長検出リング４０とワイヤテール１１０との間に放電スパークが生じないので、検出部１１４では電流値が検出されない。ワイヤテール１１０の突出長L_Tが適当に長くなると、突出長検出リング４０とワイヤテール１１０との間に放電スパークが生じるので、検出部１１４では、突発的なパルス状の電流値を検出する。ワイヤテール１１０の突出長L_Tが長すぎて突出長検出リング４０に接触すると、ワイヤテール１１０と突出長検出リング４０との間が電気的に導通し、検出部１１４では、通電が確認される。このように、検出部１１４が検出する電流値によって、ワイヤテール１１０の突出長L_Tの長さが判定できる。

[0074] 図３（ａ）から（ｃ）のように、第２ワイヤボンディング処理が正常に行われて第２ボンド点１０２でワイヤ３０が切断された場合と、図３（ｄ）から（ｆ）のように、第２ワイヤボンディング処理が不適切であって第２ボン

ド点１０２が不着状態のままでワイヤ３０が第１ボンド点１００と第２ボンド点１０２との間で切断された場合の２つを区別するには、図３（ｃ）の正常の場合のワイヤテール１１０の突出長L_Tを適切突出長として、そのときにはスパーク放電が生じないようにし、適切突出長を超える突出長L_Tのときにスパーク放電が生じるように、検査高電圧１１２を設定することがよい。１つのワイヤボンディング処理工程が正常に完了した場合は、キャピラリ２８の先端から突き出るワイヤテール１１０の突出長L_Tが一定である。これに対し、１つのワイヤボンディング工程で異常が発生した場合は、キャピラリ２８の先端から突き出るワイヤテール１１０の突出長L_Tはばらつきがあり、一般的に正常なワイヤテール１１０の突出長L_Tに比べてその長さが長くなる傾向がある。

[0075] 図７は、スパーク放電が生じる検査高電圧とワイヤ長L_Lの関係を示す図である。図７の横軸はワイヤ長L_Lで、縦軸は検査高電圧H_Vである。スパーク放電が生じる検査高電圧は特性線１１６で示される。特性線１１６に示されるように、ワイヤ長L_Lが短くなるとスパーク放電を生じさせるのに必要な検査高電圧H_Vが高くなり、ワイヤ長L_Lが長くなるとスパーク放電を生じさせるのに必要な検査高電圧H_Vが低くなる。

[0076] したがって、特性線１１６を用いて、ワイヤ長L_Lに対応する検査高電圧H_Vを求め、これを突出長判定回路３８の検査高電圧１１２として設定すれば、スパーク放電が生じなければ突出長L_Tが適切で、図３（ｃ）に示す正常状態であることになる。反対に、そのようにして設定された検査高電圧１１２の下でスパーク放電が生じれば、突出長L_Tが不適切で、第１ボンド点１００と第２ボンド点１０２との間でワイヤ３０の切断が生じたものと判断することができる。

[0077] なお、検査高電圧H_Vが高すぎると、突出長L_Tが適切突出長のときにもスパーク放電を生じさせてしまう。つまり、その検査高電圧では、適切突出長かについて誤検出することになる。これを誤検出する領域とすると、図７の例では、H_Vが３３００Ｖ以上となるときが誤検出する領域である。

[0078] 検査高電圧H_Vが低すぎると、突出長L_Tが適切突出長を超えるときにもスパーク放電が生じない。つまり、その検査高電圧では、適切突出長かについて検出することができない。これを不検出の領域とすると、図７の例では、H_Vが２４００Ｖ以下となるときが不検出の領域である。

[0079] 図７で切断検出可能として示される領域は、ワイヤ長L_Lが十分長いときである。ワイヤ長L_Lが十分長いときは、第１ボンド点１００と第２ボンド点１０２との間に形成されるループの形状に余裕があり、第２ボンド点１０２が不着であっても、ワイヤ３０を引っ張ることでワイヤ３０が切断されるまでに余裕がある。したがって、ワイヤ３０が切断される前に、不着判定回路３６が第２ボンド点１０２における不着を判定することができる。図７の例では、ワイヤ長L_Lが１０００μｍ以上となるときが切断検出可能な領域である。

[0080] 特性線１１６は、このような誤検出する領域、不検出の領域、切断検出可能な領域で囲まれ、ワイヤテール１１０の突出長L_Tに応じてスパーク放電が生じる領域の中で、適切な突出長のときにはスパーク放電が発生せず、適切な突出長を超えるときにはスパーク放電が発生する検査高電圧の値をつないで得られた特性線である。

[0081] 再び図１に戻り、コンピュータ６０は、ワイヤボンディング装置１０の各要素の動作を全体として制御する。コンピュータ６０は、ＣＰＵである制御部８０と、制御部８０と、各種のインタフェース回路と、メモリ８２を含んで構成される。これらは互いに内部バスで接続される。

[0082] 各種インタフェース回路は、ＣＰＵである制御部８０とワイヤボンディング装置１０の各要素との間に設けられる駆動回路またはバッファ回路である。図１では、インタフェース回路を単にＩ／Ｆとして示した。各種インタフェース回路は、ＸＹステージ１６に接続されるＸＹステージＩ／Ｆ６２、Ｚモータ２０に接続されるＺモータＩ／Ｆ６４、超音波振動子２６に接続される超音波振動子Ｉ／Ｆ６６、クランパ開閉部３４に接続されるクランパ開閉Ｉ／Ｆ６８、切断判定回路として機能する不着判定回路３６に接続される切

断回路Ｉ／Ｆ７０、突出長判定回路３８に接続される突出長判定回路Ｉ／Ｆ７２である。

[0083] メモリ８２は、各種プログラムと、各種制御データを格納する記憶装置である。各種プログラムは、第１ワイヤボンディング処理に関する第１ボンディングプログラム８４、第２ワイヤボンディング処理に関する第２ボンディングプログラム８６、ワイヤ切断のためのキャピラリ移動処理に関する移動処理プログラム８８、ワイヤ３０の切断判定処理に関する切断判定処理プログラム９０、ワイヤ３０の突出長判定処理に関する突出長判定処理プログラム９２、ワイヤ切断が異常であることを示す異常出力処理に関する異常出力処理プログラム９４、異常出力がされたときに次の工程のための捨てボンド処理に関する捨てボンドプログラム９５、その他の制御処理に関する制御プログラム９６である。制御データ９８としては、例えば、図７で説明したワイヤの突出長と検査高電圧とスパーク有無に関する検出関係データ等である。

[0084] 上記構成の作用、特にコンピュータ６０の各機能について、図８以下を用いてさらに詳細に説明する。図８は、半導体装置の製造方法としてのワイヤボンディングの手順を示すフローチャートである。図９は、図８のフローチャートの３つの判断手順の内容を示す図である。図１０と図１１は、突出長検出リング４０におけるスパーク放電の有無を示す図である。

[0085] 図８は、ワイヤボンディングの手順を示すフローチャートで、各手順は、コンピュータ６０のメモリ８２に格納される各プログラムの処理手順に対応する。ワイヤボンディング装置１０に電源等が投入されると、コンピュータ６０を含むワイヤボンディング装置１０の各構成要素の初期化が行われる。

[0086] 次に、ボンディングステージ１４が一旦引き出され、ボンディング対象物である半導体チップ６が搭載された回路基板８がボンディングステージ１４上に位置決めセットされ、ウィンドクランパ５０によって押さえつけられて固定される。ボンディングステージ１４は再び初期状態の位置に戻される。なお、ボンディングステージ１４は、ボンディング条件で定められた所定の

温度に加熱される。このボンディング対象物設定工程は、回路基板８の自動搬送装置を用いて自動的に行われる。

[0087] 次に、第１ボンディングプログラム８４が制御部８０によって実行され、第１ボンド点１００において第１ワイヤボンディング処理が行われる（Ｓ１０）。第１ワイヤボンディング処理は、まず、ワイヤクランパ３２が開いた状態で、キャピラリ２８にワイヤ３０が挿通されキャピラリ２８の先端にワイヤ３０が突き出る状態とされる。そして、制御部８０の指令によってＸＹステージＩ／Ｆ６２とＺモータＩ／Ｆ６４を介して、ＸＹステージ１６とＺモータ２０が移動駆動され、先端にワイヤ３０が突き出る状態のキャピラリ２８が第１ボンド点１００に向かって移動する。第１ボンド点１００は、回路基板８の１つのリード上に設定される。第１ボンド点１００の設定は、図１では図示されていない位置決めカメラ等を用いて行われる。

[0088] 第１ボンド点１００では、キャピラリ２８の先端部と回路基板８のリードとの間にワイヤ３０が挟み込んで押し付けられ、制御部８０の指令で超音波振動子Ｉ／Ｆ６６を介して超音波振動子２６が作動され、その超音波振動エネルギとＺモータ２０の駆動制御によるキャピラリ２８の押圧力と、ボンディングステージ１４からの加熱温度とによって、ワイヤ３０とリードとの間が接合される。このようにして、第１ボンド点１００における第１ワイヤボンディング処理が行われる。

[0089] 第１ワイヤボンディング処理が終了すると、ループ形成処理が行われる。すなわち、第１ワイヤボンディング処理が終了した後、ワイヤクランパ３２を開いた状態でキャピラリ２８を上方に上昇させ、次に第２ボンド点１０２の直上に移動させる。第２ボンド点１０２は、半導体チップ６の１つのパッド上に設定される。キャピラリ２８の移動の間、ワイヤ３０は、ワイヤスプール３３から繰り出されて、キャピラリ２８の先端から必要なワイヤ長だけ延出される。キャピラリ２８の移動は、制御部８０の指令によってＸＹステージ１６とＺモータ２０が移動駆動されることで行われる。

[0090] ループ形成処理の後、第２ワイヤボンディング処理が行われる（Ｓ１２）

。この処理手順は、制御部８０が第２ボンディングプログラム８６を実行することで行われる。ループ形成処理手順を第２ボンディングプログラム８６に含め、ループ形成処理を含めて第２ワイヤボンディング処理としてもよい。

[0091] 第２ボンド点１０２では、第１ワイヤボンディング処理と同様に、キャピラリ２８の先端部と半導体チップ６のパッドとの間にワイヤ３０が挟み込んで押し付けられ、制御部８０の指令で超音波振動子Ｉ／Ｆ６６を介して超音波振動子２６が作動され、その超音波振動エネルギとＺモータ２０の駆動制御によるキャピラリ２８の押圧力と、ボンディングステージ１４からの加熱温度とによって、ワイヤ３０とパッドとの間が接合される。このようにして、第２ボンド点１０２における第２ワイヤボンディング処理が行われる。

[0092] 第２ワイヤボンディング処理が終了すると、次にワイヤ切断のための移動処理が行われる（Ｓ１４）。この処理手順は、制御部８０が移動処理プログラム８８を実行することで行われる。ワイヤ切断のための移動処理は、次のように行われる。

[0093] 第２ボンド点１０２における接合処理が行われた後、制御部８０の指令で、ＺモータＩ／Ｆ６４を介してＺモータ２０を回転制御してキャピラリ２８を少し上昇させる。次に、制御部８０の指令で、ＸＹステージＩ／Ｆ６２を介してＸＹステージ１６を移動駆動させることにより、ワイヤテールを斜め上方に引き出し、さらに、制御部８０の指令で、クランパ開閉Ｉ／Ｆ６８を介してクランパ開閉部３４に指令を与えてワイヤクランパ３２を閉じ、その状態で、ＸＹステージＩ／Ｆ６２を介してＸＹステージ１６を移動駆動させ、これによってキャピラリ２８をＸＹ平面内で移動させる。

[0094] つまり、ワイヤクランパ３２でワイヤ３０を挟んだ状態でワイヤ３０をＸＹ平面内で引っ張る。第２ボンド点１０２における接合強度はワイヤ３０の破断強度よりも十分大きくなるように第２ワイヤボンディング処理の条件設定が行われているので、ワイヤ３０は、第２ボンド点１０２において切断される。

[0095] ワイヤ切断のためのキャピラリ２８の移動処理が行われると、ワイヤが切断されたか否かの判定が行われる（Ｓ１６）。この処理手順は、制御部８０が切断判定処理プログラム９０を実行することで行われる。ワイヤ切断が行われたか否かは、制御部８０の指令で、切断判定回路Ｉ／Ｆ７０を介して不着判定回路３６を作動させ、その結果を制御部８０が受け取って行われる。Ｓ１６において、ワイヤ３０が切断されていないと判定されるときは、第２ボンド点１０２における不着があるとして異常信号を出力する（Ｓ２６）。Ｓ１６において、ワイヤ３０が切断されていると判定したときでも、そのまま第２ボンド点１０２において正常に接合が行われたとすると、図３で説明したように、誤判定をする可能性がある。

[0096] そこで、ワイヤ切断の判定のＳ１６において、ワイヤ３０が切断されていると判定されると、次に、キャピラリ２８の先端から突き出すワイヤテール１１０について突出長L_Tの判定が行われる（Ｓ１８）。突出長L_Tの判定は、突出長判定回路３８と突出長検出リング４０を用いて行われる。突出長L_Tの判定は、キャピラリ２８の先端から突き出すワイヤテール１１０が突出長検出リング４０に接触する通電が検出されなかったか否か（Ｓ２０）と、通電が検出されないときに、所定の検査高電圧の下で放電スパークが検出されなかったか否か（Ｓ２２）の２段階で行われる。これらの処理手順は、制御部８０が突出長判定処理プログラムを実行することで行われる。

[0097] このように、第２ボンド点１０２における不着判定は、Ｓ１６，Ｓ２０，Ｓ２２の３段階の判定を経て行われ、Ｓ１６でワイヤ３０が切断されたと判定され、Ｓ２０で通電の検出がされないと判定され、Ｓ２２で放電スパークが検出されないと判定されると、第２ボンド点１０２における第２ワイヤボンディングが正常に行われ、ワイヤ３０が第２ボンド点１０２において正常に切断されたと判定される（Ｓ２４）。

[0098] 一方、Ｓ１６でワイヤ３０が切断されたとは判定されないときは、第２ボンド点１０２においてワイヤ３０が不着でワイヤ３０が切断されていないとされる。Ｓ１６の判定が肯定でＳ２０において通電が検出されると、第２ボ

ンド点１０２においてワイヤ不着で、ワイヤ３０が第１ボンド点１００と第２ボンド点１０２との間で切断され、キャピラリ２８からのワイヤテール１１０の突出長が適切な突出長をかなり超えて長いと判断される。Ｓ２０の判定が肯定でＳ２２において放電スパークが検出されると、キャピラリ２８からのワイヤテール１１０の突出長L_Tが適切な突出長を超えていると判定される。これらの各場合はいずれも異常信号が出力され（Ｓ２６）、ワイヤボンディング装置１０の動作が停止される（Ｓ２８）。この処理手順は、制御部８０が異常出力処理プログラム９４を実行することで行われる。

[0099] 第２ボンド点１０２における不着判定に関する３段階の判定の様子を図９に示す。図９（ａ）と（ｂ）は、第２ワイヤボンディング処理を行っているときのキャピラリ２８、突出長検出リング４０の配置関係を示す断面図と平面図である。

[0100] 図９（ｃ）は、第２ボンド点１０２における接合が正常に行われ、ワイヤ３０が第２ボンド点１０２で正常に切断された場合を示す図で、図８におけるＳ１６の判定が肯定されたときに対応する。この場合、キャピラリ２８の先端から突き出るワイヤテール１２０の突出長が適切な突出長となり、ワイヤクランパ３２におけるワイヤ３０と突出長検出リング４０との間に所定の検査高電圧が印加されたときに、キャピラリ２８の先端から突き出るワイヤテール１２０と突出長検出リング４０との間に放電スパークが発生しない。

[0101] 図９（ｄ）は、第２ボンド点１０２においてワイヤ３０が不着で、ワイヤ３０が第１ボンド点１００と第２ボンド点１０２との間で切断されて、キャピラリ２８の先端から突き出るワイヤテール１２２の突出長L_Tが長すぎるときである。このときは、キャピラリ２８の先端から突き出るワイヤテール１２２が突出長検出リング４０に接触し、突出長判定回路３８が通電の検出をした場合を示す図で、図８におけるＳ２０の判定が否定されたときに対応する。

[0102] 図９（ｅ）は、第２ボンド点１０２においてワイヤ３０が不着で、ワイヤ３０が第１ボンド点１００と第２ボンド点１０２との間で切断されて、キャ

ピラリ２８の先端から突き出るワイヤテール１２４の突出長L_Tが予め定めた適切な突出長を超えたときである。このときは、ワイヤクランパ３２におけるワイヤ３０と突出長検出リング４０との間に所定の検査高電圧が印加されたときに、キャピラリ２８の先端から突き出るワイヤテール１２４と突出長検出リング４０との間に放電スパークが発生する。つまり、突出長判定回路３８が放電スパーク検出をした場合で、図９におけるＳ２２の判定が否定されたときに対応する。

[0103] 図１０と図１１は、突出長判定回路３８において所定の検査高電圧が設定されたときに、キャピラリ２８の先端から突き出るワイヤテールと突出長検出リング４０との間の放電の有無の例を示す図である。所定の検査高電圧は、ワイヤボンディングの第１ボンド点１００から第２ボンド点１０２との間のワイヤ長やワイヤ径等の各種設定条件に基づいて予め求められた適切な突出長の範囲のワイヤテールの突出長L_Tでは放電スパークが発生せず、適切な突出長を超す突出長L_Tでは放電スパークが発生するように設定される。

[0104] 図１０は、図９（ｃ）の場合に対応し、キャピラリ２８の先端から突き出るワイヤテール１２０の突出長L_Tが適切な突出長であるときで、キャピラリ２８の先端から突き出るワイヤテール１２０と突出長検出リング４０との間で放電スパークが発生していない。

[0105] 図１１は、図９（ｅ）の場合に対応し、キャピラリ２８の先端から突き出るワイヤテール１２４の突出長L_Tが検査高電圧に対応する適切な突出長を超えたときで、キャピラリ２８の先端から突き出るワイヤテール１２４と突出長検出リング４０との間で放電スパーク１２６が発生している。

[0106] このように、不着判定回路３６と共に、突出長検出リング４０と突出長判定回路３８を用いることで、キャピラリ２８によるウェッジボンディングに金線より展伸性が小さいアルミニウム線を用いても、第２ボンド点１０２における不着を的確に判定することができる。

[0107] 上記では、Ｓ２６で異常信号出力がされると、Ｓ２８でワイヤボンディング装置１０の動作が停止されるものとした。異常信号出力がされるときは、

キャピラリ２８の先端から突き出るワイヤテールの突出長L_Tが不適となっている。そこで、Ｓ２６とＳ２８の間に捨てボンド処理（Ｓ２７）を行い、ワイヤ３０の突出長を適切なものにすることがよい。捨てボンド処理は、制御部８０が捨てボンドプログラム９５を実行することで行われる。捨てボンド処理は、回路基板８のリードの中で適当な広さを有するものを捨てボンド用のリードとして用いてもよく、また、半導体チップ６においても、製品として実害の無い部分であれば、捨てボンドを行う場所や位置は限定されない。以下では、捨てボンド処理を行う例として、図９（ｄ）のワイヤテール１２２について、その突出長L_Tを適切化する場合について述べる。

[0108] 図１２は、１つ目のワイヤボンディングと２つ目のワイヤボンディングの間に捨てボンド処理が行われることを示す図で、ボンディングステージ１４をキャピラリ２８の側から－Ｚ方向に見た部分図である。ここでは、回路基板８の５つのリード７と、捨てボンドに用いられるリード９と、半導体チップ６の５つのパッド５が示されている。

[0109] ここで、１つ目に行われるワイヤボンディングは、回路基板８のリード７に設けられる第１ボンド点１００と、半導体チップ６のパッド５に設けられる第２ボンド点１０２の間をワイヤ１３０によって接続するものである。２つ目に行われるワイヤボンディングは、回路基板８のリード７に設けられる第１ボンド点１３２と、半導体チップ６のパッド５に設けられる第２ボンド点１３４の間をワイヤ１３６によって接続するものである。ワイヤ１３０の接続方向と、ワイヤ１３６の接続方向は、互いに約７０度の角度の差を有する。

[0110] リード９に設けられる捨てボンド点１０７は、１つ目のワイヤボンディングにおけるワイヤ１３０の第２ボンド点１０２でキャピラリ２８から突き出るワイヤテール１２２の突出長L_Tが不適であっても、２つ目のワイヤボンディングにスムーズに移行できるように、捨てボンドが行われる位置である。捨てボンドは、１つ目のワイヤボンディングの第２ボンド点１０２での処理が終了して、２つ目のワイヤボンディングの第１ボンド点１３２の処理が開

始する前に行われる。

[0111] すなわち図８において、異常信号出力処理（Ｓ２６）が行われると、次に捨てボンド処理（Ｓ２７）が行われる。この処理手順は、制御部８０が捨てボンドプログラム９５を実行することで行われる。捨てボンド処理は、ＸＹステージＩ／Ｆ６２とＺモータＩ／Ｆ６４を介してキャピラリ２８を移動させ、クランパ開閉Ｉ／Ｆ６８を介して、ワイヤクランパ３２を開閉させ、超音波振動子Ｉ／Ｆ６６を介して超音波振動子２６を作動させて、次のようにして行われる。

[0112] キャピラリ２８の先端からワイヤテール１２２が突き出るワイヤ３０を保持して、捨てボンド用のリード９に設けられた捨てボンド点１０７の直上にキャピラリ２８を移動する。図１３は、回路基板８の捨てボンド点１０７の直上にキャピラリ２８が移動したことを示す図である。

[0113] 次に、ワイヤテール１２２を先端に保持した状態でキャピラリ２８を－Ｚ方向に下降させ、捨てボンド点１０７においてワイヤボンディングを行う。すなわち、制御部８０の指令で超音波振動子Ｉ／Ｆ６６を介して超音波振動子２６が作動され、その超音波振動エネルギとＺモータ２０の駆動制御によるキャピラリ２８の押圧力と、必要に応じては、ボンディングステージ１４からの加熱温度とによって、ワイヤテール１２２と回路基板８のリード９との間が接合される。図１４は、捨てボンド点１０７において、ワイヤテール１２２と回路基板８との間が接合されることを示す図である。

[0114] 捨てボンド点１０７においてワイヤテール１２２と回路基板８とが接合されると、次に、ワイヤテール動作およびワイヤカット動作として、ワイヤクランパ３２を閉じた状態でキャピラリ２８を捨てボンド点１０７から直上に＋Ｚ方向に上昇させる。捨てボンド点１０７における接合強度はワイヤ３０の破断強度よりも十分大きくなるように捨てボンド処理の条件設定が行われているので、ワイヤ３０は、捨てボンド点１０７において切断される。このようにキャピラリ２８の移動処理によって、ワイヤ３０が捨てボンド点１０７から引っ張られて、ワイヤ３０の切断が行われる。

[0115] 図１５は、図１４の状態から、キャピラリ２８がＸＹ平面方向に所定距離移動し＋Ｚ方向にZ_2と示される斜め上方に上昇され、ワイヤ３０が捨てボンド点１０７のところで切断状態１２８となったことを示す図である。図１５には、捨てボンド点１０７の側に残った部分と、キャピラリ２８の先端から突き出るワイヤテール１４０が示される。

[0116] このように、キャピラリ２８の先端から突き出るワイヤテールの突出長L_Tが不適で異常信号出力がされるときでも、捨てボンド処理を行うことで、キャピラリ２８の先端から突き出るワイヤテールの突出長L_Tを適切なものにでき、次のワイヤボンディング処理に適した状態となる。図８のフローチャートには、捨てボンド処理（Ｓ２７）を異常信号出力の直後に行われるように書いたが、捨てボンド処理をワイヤボンディング装置１０の停止（Ｓ２８）の後に行ってもよい。さらに、図８のフローチャートには、ワイヤボンディング装置１０の停止（Ｓ２８）の後は終了（ＥＮＤ）としたが、そのまま次のワイヤボンディング処理に進んでもよい。

[0117] 本発明は、以上説明した実施形態に限定されるものではなく、請求の範囲により規定されている本発明の技術的範囲ないし本質から逸脱することのない全ての変更及び修正を包含するものである。

産業上の利用可能性

[0118] 本発明は、キャピラリを用いてワイヤボンディングを行うワイヤボンディング装置およびワイヤボンディング方法に利用できる。

符号の説明

[0119] ５　パッド、６　半導体チップ、７，９　リード、８　回路基板、１０　ワイヤボンディング装置、１２　架台、１４　ボンディングステージ、１６　ＸＹステージ、１８　ボンディングヘッド、２０　Ｚモータ、２２　Ｚ駆動アーム、２４　超音波トランスデューサ、２６　超音波振動子、２８　キャピラリ、３０，１３０，１３６　ワイヤ、３２　ワイヤクランパ、３３　ワイヤスプール、３４　クランパ開閉部、３６　不着判定回路、３８　突出長判定回路、４０　突出長検出リング、５０　ウィンドクランパ、６０　コ

ンピュータ、６２　ＸＹステージＩ／Ｆ、６４　ＺモータＩ／Ｆ、６６　超音波振動子Ｉ／Ｆ、６８　クランパ開閉Ｉ／Ｆ、７０　切断判定回路Ｉ／Ｆ、７２　突出長判定回路Ｉ／Ｆ、８０　制御部、８２　メモリ、８４　第１ボンディングプログラム、８６　第２ボンディングプログラム、８８　移動処理プログラム、９０　切断判定処理プログラム、９２　突出長判定処理プログラム、９４　異常出力処理プログラム、９５　捨てボンドプログラム、９６　制御プログラム、９８　制御データ、１００，１３２　第１ボンド点、１０２，１３４　第２ボンド点、１０３，１０４，１０５，１２８　切断状態、１０６　印加電源、１０７　捨てボンド点、１０８　測定部、１１０，１２０，１２２，１２４，１４０　ワイヤテール、１１２　検査高電圧、１１４　検出部、１１６　特性線、１２６　放電スパーク。

請求の範囲

[請求項1] ワイヤを挿通するキャピラリと、

前記キャピラリと同軸に配置される円環状のワイヤ突出長検出リングと、

前記ワイヤ突出長検出リングと前記ワイヤとの間に所定の検査電圧を印加したときの通電の有無の検出に基づき、前記キャピラリの先端から突き出る前記ワイヤの突出長の適不適を判定する突出長判定部と、

を含む、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、

前記通電は、前記ワイヤ突出長検出リングと前記ワイヤとの間に所定の検査電圧を印加して非導通状態であると検出したならば、前記ワイヤ突出長検出リングと前記ワイヤとの間に所定の検査高電圧を印加して放電スパークの有無の検出をする、ワイヤボンディング装置。

[請求項3] 請求項１に記載のワイヤボンディング装置であって、

前記突出長判定部は、

前記ワイヤの突出長と前記検査高電圧と前記スパークの有無に関する検出関係を予め求めておき、ワイヤボンディングのボンディング条件に応じて前記検査高電圧を設定し、前記ボンディング条件に適した前記ワイヤの突出長か否かを判定する、ワイヤボンディング装置。

[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、

第１ボンド点におけるワイヤボンディングに引き続き第２ボンド点におけるワイヤボンディングを行った後、前記ワイヤをクランプ状態として前記キャピラリを移動することで前記ワイヤを前記第２ボンド点から切断する処理を行った後に、ボンディング対象物と前記クランプ状態の前記ワイヤとの間に所定の電気信号を印加し、その応答に基づいて前記ワイヤが切断されたか否かを判定する切断判定部を備え、

前記突出長判定部は、前記切断判定部において前記ワイヤが切断さ

れていると判定した場合に、前記ワイヤの突出長の適不適を判定し、前記ワイヤの突出長が不適のときに、前記第２ボンド点におけるボンディングが行われず、前記第１ボンド点と前記第２ボンド点との間で前記ワイヤが切断されたとして異常信号を出力する、ワイヤボンディング装置。

[請求項5] 請求項４に記載のワイヤボンディング装置であって、

ワイヤの突出長が不適と判定されたとき、予め定めた捨てボンド点を用いて、ワイヤの切断された先端部分を適切な突出長にする捨てボンド処理部を備える、ワイヤボンディング装置。

[請求項6] 請求項４または５に記載のワイヤボンディング装置であって、

前記第１ボンド点および前記第２ボンド点における前記ワイヤボンディングは、ウェッジボンディング方式で行われる、ワイヤボンディング装置。

[請求項7] ワイヤボンディングの第１ボンド点において、ワイヤを挿通するキャピラリを用いてウェッジボンディング方式で第１ボンディング対象物と前記ワイヤとの間を接合する第１ワイヤボンディング処理工程と、

前記第１ボンド点における前記ワイヤボンディングの後、前記第１ボンド点から所定のワイヤ長で前記ワイヤを延出し、前記ワイヤボンディングの前記第２ボンド点において、第２ボンディング対象物と前記ワイヤとの間を接合する第２ワイヤボンディング処理工程と、

前記第２ボンド点における前記ワイヤボンディングの後、前記ワイヤを前記第２ボンド点から切断するために、前記ワイヤをクランプ状態として、前記ワイヤを挿通しているキャピラリを移動する移動処理工程と、

前記ワイヤの切断のための前記キャピラリの移動を行った後に、前記第２ボンディング対象物と前記ワイヤとの間に所定の電気信号を印加し、その応答に基づいて前記ワイヤが切断されたか否かを判定する

切断判定処理工程と、

前記ワイヤが切断されていると判定した場合に、前記キャピラリと同軸に配置される円環状のワイヤ突出長検出リングと前記ワイヤとの間に所定の検査電圧を印加したときの通電の有無の検出に基づき、前記キャピラリの先端から突き出る前記ワイヤの突出長の適不適を判定する突出長判定工程と、

前記ワイヤの突出長が不適のときに、前記第２ボンド点におけるボンディングを行わず、前記第１ボンド点と前記第２ボンド点との間で前記ワイヤが切断されたとして異常信号を出力する出力処理工程と、

を有する、半導体装置の製造方法。

[請求項8] 請求項７に記載の半導体装置の製造方法であって、

前記通電は、前記ワイヤ突出長検出リングと前記ワイヤとの間に所定の検査電圧を印加して非導通状態であると検出したならば、前記ワイヤ突出長検出リングと前記ワイヤとの間に所定の検査高電圧を印加して放電スパークの有無の検出をする、半導体装置の製造方法。

[請求項9] 請求項７に記載の半導体装置の製造方法であって、

ワイヤの突出長が不適と判定されたとき、予め定めた捨てボンド点を用いて、ワイヤの切断された先端部分を適切な突出長にする捨てボンド処理工程を有する、半導体装置の製造方法。