

明 細 書

発明の名称：半導体装置の製造方法及びワイヤボンディング装置

技術分野

[0001] 本開示は、半導体装置の製造方法及びワイヤボンディング装置に関する。

背景技術

[0002] 半導体装置を製造する際、例えば半導体部品同士をボンディングによって上下に接続することがある。このような接続のために、半導体部品の電極の表面に対して、電極の表面から立ち上がる方向に延びるワイヤを形成する。このようなワイヤは、ピンワイヤと称される。ピンワイヤは、例えば、特許文献1に記載された方法によって形成することができる。特許文献1に記載された方法では、まず、キャピラリを用いてワイヤを電極の表面に接合する。次に、キャピラリを移動させることによって、キャピラリの内部エッジ部を用いてワイヤに傷を形成する。次に、ワイヤの接合部から傷までの部分を電極の表面から直立させる。次に、キャピラリを下降させる。キャピラリの下降によって、ワイヤは、傷が設けられた部分において折り曲げられる。その後、ワイヤクランプを閉じた状態でキャピラリを上昇させる。その結果、ワイヤは、傷が設けられた部分において切断される。以上の工程によって、電極の表面から立ち上がるピンワイヤが形成される。

先行技術文献

特許文献

[0003] 特許文献1：特開2007-220699号公報

発明の概要

発明が解決しようとする課題

[0004] 上述したピンワイヤに対しては、電極の表面からピンワイヤの先端までの長さ（ピンワイヤ高さ）をより高くすることが要求されている。特許文献1に記載された方法を用いて高いピンワイヤを形成する場合、接合部から傷が設けられた部分までのワイヤ部を長くする必要がある。しかし、特許文献1

に記載された方法では、ワイヤを傷が設けられた部分において折り曲げる際、ワイヤ部を電極の表面から直立させた状態でキャピラリを下降させる。その結果、キャピラリの下降に応じてワイヤ部の軸方向に大きな力が作用する。従って、ワイヤ部を長くすると、軸方向に作用する力によって、ワイヤ部が座屈する等の不具合が生じやすくなる。この場合、ワイヤ部には、傷が設けられた部分よりも切れやすい部分が生じる。その結果、ワイヤを傷が設けられた部分において確実に切断することが難しくなる。従って、特許文献1に記載された方法では、所望の高さのピンワイヤを形成することは困難である。

[0005] 本開示は、所望の高さのピンワイヤを容易に形成できる半導体装置の製造方法及びワイヤボンディング装置を説明する。

課題を解決するための手段

[0006] 本開示の一形態である半導体装置の製造方法は、キャピラリを用いて電極にワイヤを接合した後に、ワイヤの接合部よりも上方の位置であって、接合部を通る電極の表面の法線上からずれた位置である第1位置に、ワイヤを繰り出しながらキャピラリを移動させることにより、ワイヤを所定の長さ引き出す第1工程と、キャピラリを第1位置に移動させた後、第1位置よりも上方の位置であって、法線が延びる法線方向から見て第1位置に対して接合部側にずれた位置である第2位置に、ワイヤを繰り出しながらキャピラリを移動させることにより、曲げ部をワイヤに形成する第2工程と、曲げ部を形成した後、法線方向に沿ったキャピラリの下降及び上昇を複数回繰り返すことにより、曲げ部を切断予定部に加工する第3工程と、キャピラリの下降及び上昇を複数回繰り返した後、ピンワイヤを形成するために、ワイヤクランプを閉じた状態でキャピラリを上昇させることにより、ワイヤを切断予定部において切断する第4工程と、を備える。

[0007] 上記の製造方法によれば、ワイヤを切断予定部において確実に切断することができる。従って、所望の高さのピンワイヤを容易に形成することができる。

- [0008] キャピラリを第2位置に移動させたときに、曲げ部は、接合部を通る法線上からずれた位置に位置してもよい。この場合、ピンワイヤ形成予定部に座屈等の不具合が生じる事態をより確実に抑制できる。その結果、ワイヤを切断予定部においてより確実に切断することができる。
- [0009] 法線方向から見た場合に、第1位置から第2位置までのキャピラリの移動距離は、キャピラリの先端面の半径よりも長くてもよい。この場合、切断予定部においてワイヤをより確実に切断することができる。
- [0010] 法線方向から見た場合に、第1位置から第2位置までのキャピラリの移動距離は、接合部から第1位置までのキャピラリの移動距離と同一であってもよい。この場合、切断予定部においてワイヤをより一層確実に切断することができる。
- [0011] キャピラリを第2位置に移動させたときに、キャピラリの先端面は接合部の直上に位置してもよい。この場合、電極の表面から直立した状態のピンワイヤを容易に得ることができる。
- [0012] 基板上において、複数の半導体チップは、各半導体チップの主面が露出面として露出するように階段状に積層されてもよい。電極は、各半導体チップの露出面に設けられ、第1工程から第4工程までの一連の工程を半導体チップ毎に行うことにより、ピンワイヤを半導体チップ毎に形成してもよい。第1工程から第4工程までの一連の工程を、上段の半導体チップから下段の半導体チップの順に、又は、下段の半導体チップから上段の半導体チップの順に行ってもよい。この場合、押付動作によるワイヤの切断が困難な状況下においても、ピンワイヤを半導体チップ毎に容易に形成することができる。
- [0013] 本開示の別の形態であるワイヤボンディング装置は、電極に対して相対移動可能に構成されたキャピラリを含むボンディングユニットと、ボンディングユニットの動作を制御する制御ユニットと、を備える。制御ユニットは、キャピラリを用いて電極にワイヤを接合させた後に、ワイヤの接合部よりも上方の位置であって、接合部を通る電極の表面の法線上からずれた位置である第1位置に、ワイヤを繰り出しながらキャピラリを移動させることにより

、ワイヤを所定の長さ引き出させる第1制御信号と、キャピラリを第1位置に移動させた後、第1位置よりも上方の位置であって、法線が延びる法線方向から見て第1位置に対して接合部側にずれた位置である第2位置に、ワイヤを繰り出しながらキャピラリを移動させることにより、曲げ部をワイヤに形成させる第2制御信号と、曲げ部を形成させた後、法線方向に沿ったキャピラリの下降及び上昇を複数回繰り返させることにより、曲げ部を切断予定部に加工させる第3制御信号と、キャピラリの下降及び上昇を複数回繰り返させた後、ピンワイヤを形成するために、ワイヤクランプを閉じた状態でキャピラリを上昇させることにより、ワイヤを切断予定部において切断させる第4制御信号と、をボンディングユニットに提供する。

[0014] 上記のワイヤボンディング装置によれば、ワイヤを切断予定部において確実に切断することができる。従って、所望の高さのピンワイヤを容易に形成することができる。

発明の効果

[0015] 本開示によれば、所望の高さのピンワイヤを容易に形成できる半導体装置の製造方法及びワイヤボンディング装置が提供される。

図面の簡単な説明

[0016] [図1]図1は、本開示のワイヤボンディング装置の構成を示す図である。

[図2]図2は、図1に示されたワイヤボンディング装置を用いて製造される半導体装置の構成を示す図である。

[図3]図3は、図2に示されたピンワイヤの形状とキャピラリの目標点とを示す図である。

[図4]図4は、本開示の半導体装置の製造方法が有する工程を示すフロー図である。

[図5]図5の(a)部、(b)部及び(c)部は、本開示の半導体装置の製造方法における工程を示す図である。

[図6]図6の(a)部、(b)部及び(c)部は、図5に続く工程を示す図である。

[図7]図7の(a)部、(b)部及び(c)部は、図6に続く工程を示す図である。

[図8]図8は、図6の(a)部の工程におけるワイヤの形状を示す図である。

[図9]図9の(a)部及び(b)部は、第1比較例に係る半導体装置の製造方法が有する工程を示す図である。

[図10]図10の(a)部、(b)部及び(c)部は、第2比較例に係る半導体装置の製造方法が有する工程を示す図である。

[図11]図11の(a)部、(b)部及び(c)部は、図10に続く工程を示す図である。

発明を実施するための形態

[0017] 以下、添付図面を参照しながら本発明の実施形態を詳細に説明する。図面の説明において同一の要素には同一の符号を付し、重複する説明を適宜省略する。

[0018] [ワイヤボンディング装置]

図1に示すワイヤボンディング装置1は、例えば、半導体装置10に設けられた電極にワイヤ20を接合する。次に、ワイヤボンディング装置1は、ワイヤ20を所定の長さで切断する。その結果、電極の表面から立ち上がる方向に延びるピンワイヤ21(図3参照)が形成される。ワイヤボンディング装置1は、例えば、搬送ユニット2と、ボンディングユニット3と、制御ユニット4と、を備える。

[0019] 搬送ユニット2は、被処理部品である半導体装置10をボンディングエリアに搬送する。ボンディングユニット3は、例えば、移動機構6と、ボンディングツール7と、キャピラリ8と、ワイヤクランプ9と、を含む。移動機構6は、半導体装置10に対してキャピラリ8を相対的に移動させる。ボンディングツール7の先端には、ワイヤ20を繰り出すキャピラリ8が着脱可能に設けられている。キャピラリ8は、先鋭な円筒状をなしている。キャピラリ8の内部には、ワイヤ20が挿通されている。キャピラリ8は、ワイヤ20に対して熱、超音波又は圧力を提供する。

[0020] ワイヤクランプ９は、キャピラリ８の上方に配置されている。ワイヤクランプ９は、ワイヤ２０を把持可能である。ワイヤクランプ９が開いた状態では、ワイヤ２０はワイヤクランプ９に把持されない。ワイヤクランプ９が開いた状態では、キャピラリ８からのワイヤ２０の繰り出しが許可される。ワイヤクランプ９が閉じた状態では、ワイヤ２０はワイヤクランプ９に把持される。ワイヤクランプ９が閉じた状態では、キャピラリ８からのワイヤ２０の繰り出しが停止される。ワイヤ２０は、細径の金属ワイヤである。例えば、ワイヤ２０は、金（Au）、銀（Ag）、アルミニウム（Al）、銅（Cu）又は、これらの合金により形成されている。ワイヤ２０の直径は、例えば $20\text{ }\mu\text{m}$ （マイクロメートル）である。

[0021] 制御ユニット４は、ボンディングユニット３の動作を含むワイヤボンディング装置１の全体の動作を制御する。制御ユニット４は、いくつかの制御信号をボンディングユニット３に提供する。例えば、制御信号は、半導体装置１０に対するキャピラリ８の位置を制御するための信号と、熱、超音波又は圧力の提供の開始及び停止のための信号と、キャピラリ８からのワイヤ２０の繰り出しの許可及び停止のための信号と、を含む。制御ユニット４の具体的な制御による動作については、後述する。

[0022] 〔半導体装置〕

図２に示す半導体装置１０は、例えば、回路基板１１と、複数の半導体チップ１２Ａ、１２Ｂ、１２Ｃ、及び１２Ｄを有する半導体部品１２と、複数のピンワイヤ２１Ａ、２１Ｂ、２１Ｃ、及び２１Ｄと、を有する。半導体部品１２は、例えば、回路基板１１の主面１１ａに対してダイボンドなどにより固定されている。半導体部品１２は、例えば、複数の半導体チップ１２Ａ、１２Ｂ、１２Ｃ、及び１２Ｄが多段に積層された構成を有する。一例として、半導体部品１２は、多段チップメモリデバイスである。

[0023] 半導体チップ１２Ａ、１２Ｂ、１２Ｃ、及び１２Ｄは、階段状にずれるように積層されている。半導体チップ１２Ａは、回路基板１１の主面１１ａ上に配置されている。半導体チップ１２Ｂは、半導体チップ１２Ａの主面上に

配置されている。半導体チップ12Bは、回路基板11の主面11aに沿った一方向に沿って半導体チップ12Aからずれている。半導体チップ12Cは、半導体チップ12Bの主面上に配置されている。半導体チップ12Cは、当該一方向に沿って半導体チップ12Bからずれている。半導体チップ12Dは、半導体チップ12Cの主面上に配置されている。半導体チップ12D、当該一方向に沿って半導体チップ12Cからずれている。

[0024] 半導体チップ12Aの主面のうち半導体チップ12Bから露出する一部は、半導体チップ12Bから露出する露出面12aである。半導体チップ12Bの主面のうち半導体チップ12Cから露出する一部は、半導体チップ12Cから露出する露出面12bである。半導体チップ12Cの主面のうち半導体チップ12Dから露出する一部は、半導体チップ12Dから露出する露出面12cである。半導体チップ12Dの主面は、半導体部品12の外面に露出する露出面12dである。露出面12a、12b、12c、及び12dには、電極31A、31B、31C、及び31Dがそれぞれ設けられている。電極31Aの表面は、露出面12aを構成する。電極31Bの表面は、露出面12bを構成する。電極31Cの表面は、露出面12cを構成する。電極31Dの表面は、露出面12dを構成する。

[0025] ピンワイヤ21A、21B、21C、及び21Dは、電極31A、31B、31C、及び31D上にそれぞれ設けられている。ピンワイヤ21A、21B、21C、及び21Dは、所定の長さで切断されたワイヤ20の一部である。ピンワイヤ21Aは、電極31Aの表面に接合されている。ピンワイヤ21Aは、電極31Aの表面から立ち上がる方向に延びている。ピンワイヤ21Bは、電極31Bの表面に接合されている。ピンワイヤ21Bは、電極31Bの表面から立ち上がる方向に延びている。ピンワイヤ21Cは、電極31Cの表面に接合されている。ピンワイヤ21Cは、電極31Cの表面から立ち上がる方向に延びている。ピンワイヤ21Dは、電極31Dの表面に接合されている。ピンワイヤ21Dは、電極31Dの表面から立ち上がる方向に延びている。

- [0026] ピンワイヤ21A、21B、21C、及び21Dの上端は、回路基板11の主面11aを基準としたときの同一の高さHに位置するように揃えられている。各ピンワイヤ21A、21B、21C、及び21Dの長さは、互いに異なっている。最も下の段の半導体チップ12Aに設けられたピンワイヤ21Aの長さは、最も長い。次の段の半導体チップ12Bに設けられたピンワイヤ21Bの長さは、ピンワイヤ21Aの長さよりも短い。次の段の半導体チップ12Cに設けられたピンワイヤ21Cの長さは、ピンワイヤ21Bの長さよりも短い。最も上の段の半導体チップ12Dに設けられたピンワイヤ21Dの長さは、最も短い。ピンワイヤ21A、21B、21C、及び21Dの上端は、半導体部品12上に設けられる別の図示しない半導体部品の電極に接続される。これにより、半導体部品12と当該別の半導体部品とが、ピンワイヤ21A、21B、21C、及び21Dを介して互いに電氣的に接続される。
- [0027] 以下、ピンワイヤ21A、21B、21C、及び21Dをそれぞれ区別して説明する必要がある場合には、これらを総称して「ピンワイヤ21」という。電極31A、31B、31C、及び31Dをそれぞれ区別して説明する必要がある場合には、これらを総称して「電極31」という。
- [0028] 図3は、ピンワイヤ21の形状を示している。図3に示すように、ピンワイヤ21は、ボンディング部21aと、ワイヤ部21bと、を含む。ボンディング部21aは、ピンワイヤ21の下端部を構成する部分である。ボンディング部21aは、後述するワイヤ20のボンディング部20a（接合部）に相当する。ボンディング部21aは、電極31に対して物理的及び電氣的に接続されている。物理的に接続されている状態とは、ピンワイヤ21が電極31に接合されている状態をいう。例えば、ボンディング部21aは、引っ張り力に対する抵抗力（反力）を生じさせる部分としてもよい。電氣的に接続されている状態とは、ピンワイヤ21と電極31との間の電気抵抗が極めて小さい状態をいう。ボンディング部21aは、ワイヤ20の先端に形成される球状のFAB（Free Air Ball）をキャピラリ8が電極31に押圧する

ことによって形成される。従って、ボンディング部21aは、FABが半分程度潰れて変形したような半球状をなしている。

[0029] ワイヤ部21bは、ピンワイヤ21の本体部分である。ワイヤ部21bは、後述するワイヤ20のワイヤ部20bに相当する。ワイヤ部21bは、ボンディング部21aから上方に延在している。ワイヤ部21bは、電極31の表面の法線が延びる法線方向D1に沿って延びている。換言すると、ワイヤ部21bは、電極31の表面に対して直立した状態である。ワイヤ部21bの断面は、円形状である。ワイヤ部21bの断面は、ワイヤ20の断面形状を保っている。ワイヤ部21bの上端部21cは、ワイヤ部21bの上端にかけて先細る形状である。上端部21cは、ピンワイヤ21が形成される際のワイヤ20の切断部である。上端部21cは、後述するワイヤ20の曲げ部20cに相当する。電極31の表面からピンワイヤ21の上端までの高さは、例えば、100 μ m以上としてよい。つまり、ピンワイヤ21の全長は、例えば、100 μ m以上としてよい。

[0030] [半導体装置の製造方法]

半導体装置10は、ワイヤボンディング装置1によって製造される。以下、ワイヤボンディング装置1における制御ユニット4の制御動作、及び、半導体装置10の製造方法を説明する。

[0031] 図3を参照しながら、キャピラリ8の先端が移動する第1目標点P1～第7目標点P7について具体的に説明する。図3は、ピンワイヤ21の形状と、第1目標点P1～第7目標点P7と、を示している。制御ユニット4は、予め設定された第1目標点P1～第7目標点P7に関する情報を有する。制御ユニット4は、第1目標点P1～第7目標点P7にキャピラリ8の先端が順次移動するように、ボンディングユニット3に制御信号を提供する。制御ユニット4は、移動中におけるワイヤ20の繰り出しの許可及び停止を制御する制御信号をボンディングユニット3に提供する。制御ユニット4は、キャピラリ8からの超音波などの提供の許可及び停止を制御する制御信号をボンディングユニット3に提供する。キャピラリ8の先端とは、キャピラリ8

の先端面 8 a (図 8 参照) の位置を示している。先端面 8 a は、例えば、電極 3 1 の表面と平行な平面である。先端面 8 a は、法線方向 D 1 から見て円形である。従って、キャピラリ 8 の先端は、例えば、法線方向 D 1 から見た場合の先端面 8 a の中心位置としてよい。

[0032] 以下の説明では、半導体部品 1 2 が固定されると共にキャピラリ 8 が移動する場合を例示する。しかし、第 1 目標点 P 1 ~ 第 7 目標点 P 7 が描く軌跡は、半導体部品 1 2 とキャピラリ 8 との相対的な位置関係によって描ければよい。以下の説明のように、第 1 目標点 P 1 ~ 第 7 目標点 P 7 が描く軌跡は、キャピラリ 8 のみを移動させることによって、描いてもよい。第 1 目標点 P 1 ~ 第 7 目標点 P 7 が描く軌跡は、半導体部品 1 2 及びキャピラリ 8 の両方を移動させることによって、描いてもよい。例えば、上下方向の移動は、キャピラリ 8 の移動に対応してもよい。左右方向の移動は、半導体部品 1 2 の移動に対応してもよい。

[0033] 第 1 目標点 P 1 は、ワイヤ 2 0 を電極 3 1 にボンディングする位置を示す。第 1 目標点 P 1 は、ピンワイヤ 2 1 のボンディング部 2 1 a が形成される位置を示す。第 1 目標点 P 1 は、ボンディング部 2 1 a の位置を示す。第 1 目標点 P 1 は、電極 3 1 の表面上の位置であって、法線方向 D 1 から見た場合のボンディング部 2 1 a の中心の位置としてよい。

[0034] 第 2 目標点 P 2 は、第 1 目標点 P 1 の直上の位置に設定される。第 2 目標点 P 2 は、第 1 目標点 P 1 を通る電極 3 1 の表面の法線上の位置である。以下の説明において、電極 3 1 の表面の法線に沿って電極 3 1 から離れる方向を「上方向」と呼ぶ。法線に沿って電極 3 1 に近づく方向を「下方向」と呼ぶ。第 2 目標点 P 2 は、第 1 目標点 P 1 に対して上方向にずれた位置である。

[0035] 第 3 目標点 P 3 (第 1 位置) は、第 1 目標点 P 1 及び第 2 目標点 P 2 を通る電極 3 1 の法線上からずれた位置に設定される。電極 3 1 の法線に直交する平行軸線が延びる方向を、「平行軸線方向 D 2」と規定する。第 3 目標点 P 3 は、平行軸線方向 D 2 に沿って第 2 目標点 P 2 に対して所定距離だけ離

間した位置に設定される。以下の説明において、平行軸線方向D 2に沿って電極3 1 Aから電極3 1 Bに向かう方向を「右方向」と呼ぶ。平行軸線方向D 2に沿って電極3 1 Bから電極3 1 Aに向かう方向を「左方向」と呼ぶ。第3目標点P 3は、第2目標点P 2に対して左方向に所定距離だけ離間した位置である。第1目標点P 1から第2目標点P 2までの距離は、電極3 1の表面からのピンワイヤ2 1の高さ（ピンワイヤ2 1の全長）に基づいて決定してよい。第2目標点P 2から第3目標点P 3までの距離も、電極3 1の表面からのピンワイヤ2 1の高さ（ピンワイヤ2 1の全長）に基づいて決定してよい。第2目標点P 2から第3目標点P 3までの距離は、第1目標点P 1から第2目標点P 2までの距離と等しくてもよい。第2目標点P 2から第3目標点P 3までの距離は、第1目標点P 1から第2目標点P 2までの距離より長くてもよい。第2目標点P 2から第3目標点P 3までの距離は、第1目標点P 1から第2目標点P 2までの距離より短くてもよい。

[0036] 第4目標点P 4（第2位置）は、第3目標点P 3よりも上方の位置に設定される。さらに、第4目標点P 4（第2位置）は、法線方向D 1から見た場合に第3目標点P 3に対して第1目標点P 1側にずれた位置である。第4目標点P 4は、第3目標点P 3に対して法線方向D 1に沿って上方にずれた位置に設定される。さらに、第4目標点P 4は、第3目標点P 3に対して平行軸線方向D 2に沿って第1目標点P 1側にずれた位置に設定される。第4目標点P 4は、第3目標点P 3に対して上方向及び右方向のそれぞれに所定距離だけ離間した位置に設定される。本開示では、第4目標点P 4は、第1目標点P 1及び第2目標点P 2の直上の位置に設定される。第4目標点P 4は、第1目標点P 1及び第2目標点P 2を通る電極3 1の法線上の位置に設定される。従って、第1目標点P 1、第2目標点P 2、及び第4目標点P 4は、同一の線上に設定される。第4目標点P 4の位置は、第1目標点P 1及び第2目標点P 2の直上である必要は無い。第4目標点P 4は、第1目標点P 1及び第2目標点P 2を通る電極3 1の法線上からずれた位置に設定されてもよい。例えば、第4目標点P 4の位置は、法線方向D 1から見た場合に、

第3目標点P3と、第1目標点P1及び第2目標点P2との間の位置であってもよい。第4目標点P4の位置は、第3目標点P3に対して第1目標点P1及び第2目標点P2よりも遠い位置であってもよい。

[0037] 第5目標点P5は、第4目標点P4に対して下方向にずれた位置に設定される。従って、第5目標点P5は、法線方向において、第1目標点P1、第2目標点P2、第4目標点P4と同一の線上に設定される。本開示では、第5目標点P5は、第2目標点P2よりも上方の位置に設定される。具体的には、第5目標点P5は、法線方向D1における第2目標点P2と第4目標点P4との間の位置に設定される。第5目標点P5は、第2目標点P2よりも下方の位置に設定されてもよい。例えば、第5目標点P5は、法線方向D1における第1目標点P1と第2目標点P2との間の位置に設定されてもよい。

[0038] 第6目標点P6は、第4目標点P4に対して上方向にずれた位置に設定される。第7目標点P7は、第6目標点P6に対して上方向にずれた位置に設定される。従って、法線方向において、第1目標点P1、第2目標点P2、第4目標点P4、第5目標点P5、第6目標点P6、及び第7目標点P7は、同一の線上に設定される。キャピラリ8が第7目標点P7に移動したときに、ワイヤ20が切断される。ワイヤ20の切断によって、ピンワイヤ21が形成される。

[0039] 図4、図5、図6、及び図7を参照しながら、制御ユニット4の制御動作、及び半導体装置10の製造方法を説明する。最も下の段の半導体チップ12Aから最も上の段の半導体チップ12Dの順にピンワイヤ21A、21B、21C、及び21Dを形成する場合について説明する。但し、各ピンワイヤ21A、21B、21C、及び21Dを形成する工程は同一である。ここでは、半導体チップ12Aの電極31Aにピンワイヤ21Aを形成する例を代表して説明する。

[0040] <第1工程>

制御ユニット4は、ボンディングユニット3に第1制御信号を提供する。

第1制御信号は、キャピラリ8を第1目標点P1に移動させる動作（工程S11）と、キャピラリ8を第2目標点P2に移動させる動作（工程S12）と、キャピラリ8を第3目標点P3に移動させる動作（工程S13）と、キャピラリ8から所定期間だけ超音波を放射させる動作と、キャピラリ8からのワイヤ20の繰り出しを許可する動作と、を含む。

[0041] 第1制御信号を受けたボンディングユニット3は、キャピラリ8から繰り出されるワイヤ20の先端に球状のFAB（図7の（c）部参照）を形成する。次に、ボンディングユニット3は、キャピラリ8を第1目標点P1に移動させる（工程S11、図5の（a）部参照）。このとき、キャピラリ8は、ワイヤ20を電極31に対して押圧する。次に、ボンディングユニット3は、キャピラリ8から所定期間だけ超音波を放射する。超音波の放射により、ワイヤ20のFABが変形すると共にワイヤ20が電極31Aに接合される。その結果、ボンディング部20aが形成される。

[0042] 次に、ボンディングユニット3は、ワイヤクランプ9を開く。その結果、キャピラリ8からのワイヤ20の繰り出しが許可される。ワイヤクランプ9を開いた状態で、ボンディングユニット3は、キャピラリ8を第1目標点P1から第2目標点P2に移動させる（工程S12、図5の（b）部参照）。その結果、ボンディングユニット3は、ワイヤ20を繰り出しながらキャピラリ8を第1目標点P1から第2目標点P2に移動する。

[0043] 次に、ボンディングユニット3は、ワイヤ20を繰り出しながらキャピラリ8を第2目標点P2から第3目標点P3に移動させる（工程S13、図5の（c）部参照）。このとき、ワイヤ20が所定の長さだけ引き出される。その結果、ボンディング部20aからキャピラリ8まで延びるワイヤ部20bが形成される。ワイヤ部20bは、上述したように、ピンワイヤ21の本体部であるワイヤ部21bに相当する。従って、ワイヤ部20bは、ピンワイヤ21が形成される予定のピンワイヤ形成予定部とも言える。

[0044] 工程S12及びS13では、キャピラリ8を第1目標点P1から第3目標点P3に移動させることができればよい。例えば、工程S12及びS13に

代えて、第1目標点P1から第3目標点P3に直接に移動させる工程を行ってもよい。換言すると、キャピラリ8は、第2目標点P2を経由しなくてもよい。例えば、第1目標点P1と第3目標点P3とを結ぶ直線の軌跡に沿ってキャピラリ8を移動させてもよい。第1目標点P1と第3目標点P3とを通る円弧の軌跡に沿ってキャピラリ8を移動させてもよい。

[0045] <第2工程>

制御ユニット4は、第2制御信号をボンディングユニット3に提供する。第2制御信号は、キャピラリ8を第4目標点P4に移動させる動作と、キャピラリ8からのワイヤ20の繰り出しを許可する動作と、を含む(工程S14)。

[0046] 第2制御信号を受けたボンディングユニット3は、ワイヤ20を繰り出しながらキャピラリ8を第3目標点P3から第4目標点P4に移動させる(工程S14、図6の(a)部参照)。工程S14によって、ワイヤ部20bの上方に曲げ部20cが形成される。さらに、曲げ部20cの上方にワイヤ部20dが形成される(工程S15)。曲げ部20cは、ワイヤ部20bとワイヤ部20dとの間に位置する。曲げ部20cは、曲げ部20cからキャピラリ8まで延びるワイヤ部20dの軸方向(延在方向)を、ボンディング部20aから曲げ部20cまで延びるワイヤ部20bの軸方向(延在方向)から変化させる。曲げ部20cは、ワイヤ20における曲げの程度が大きくなることによって形成される。曲げ部20cにおける曲げの程度が大きくなると、曲げ部20cの変形が弾性変形から塑性変形に移行する。曲げ部20cが塑性変形すると、曲げ部20cは、元の形状(直線状)に戻らない。その結果、ワイヤ20は、曲げられた形状(円弧状)を維持する。

[0047] 工程S14及び工程S15では、第3目標点P3から第4目標点P4へのキャピラリ8の移動に応じて、曲げ部20cは、第3目標点P3に留まらない。工程S14及び工程S15では、曲げ部20cは、第3目標点P3から第4目標点P4側に僅かに移動する。移動後の曲げ部20cは、ボンディング部20aを通る電極31の法線上には位置しない。曲げ部20cは、ボン

ディング部 20 a を通る法線上からずれた位置に位置する。従って、ボンディング部 20 a から曲げ部 20 c まで延びるワイヤ部 20 b の軸方向は、法線方向 D 1 から傾斜する。また、曲げ部 20 c からキャピラリ 8 まで延びるワイヤ部 20 d の軸方向も、法線方向 D 1 から傾斜する。工程 S 1 4 及び工程 S 1 5 におけるワイヤ 20 のより具体的な形状については、後述する。

[0048] 工程 S 1 4 では、第 3 目標点 P 3 と第 4 目標点 P 4 とを結ぶ直線の軌跡に沿ってキャピラリ 8 を移動させてもよい。工程 S 1 4 では、第 3 目標点 P 3 と第 4 目標点 P 4 とを通る円弧の軌跡に沿ってキャピラリ 8 を移動させてもよい。工程 S 1 4 では、キャピラリ 8 を第 3 目標点 P 3 から第 4 目標点 P 4 に直接に移動させなくてもよい。キャピラリ 8 を第 3 目標点 P 3 から別の目標点を経由させた後に第 4 目標点 P 4 に移動させてもよい。例えば、第 3 目標点 P 3 から別の目標点へキャピラリ 8 を右方向に移動させた後に、別の目標点から第 4 目標点 P 4 へキャピラリ 8 を上方向に移動させてもよい。

[0049] <第 3 工程>

制御ユニット 4 は、第 3 制御信号をボンディングユニット 3 に提供する。第 3 制御信号は、キャピラリ 8 からのワイヤ 20 の繰り出しを停止する動作と、キャピラリ 8 を第 5 目標点 P 5 に移動させる動作（工程 S 1 5）と、キャピラリ 8 を第 5 目標点 P 5 と第 6 目標点 P 6 との間で往復移動させる動作（工程 S 1 6）と、を含む。

[0050] 第 3 制御信号を受けたボンディングユニット 3 は、ワイヤクランプ 9 を閉じる。その結果、キャピラリ 8 からのワイヤ 20 の繰り出しが停止される。更に、ボンディングユニット 3 は、キャピラリ 8 を第 4 目標点 P 4 から第 5 目標点 P 5 に下降させる（工程 S 1 6、図 6 の（b）部参照）。このとき、曲げ部 20 c を起点としてワイヤ部 20 b とワイヤ部 20 d とが互いに折り曲げられる。換言すると、ワイヤ部 20 b とワイヤ部 20 d との間の角度が小さくなり、曲げ部 20 c の曲げの程度が更に大きくなる。そして、曲げ部 20 c の外側（左側）に引張力が作用する一方、曲げ部 20 c の内側（右側）

）に圧縮力が作用する。その結果、曲げ部20cの軸方向と垂直な方向に潰れるように曲げ部20cの一部が変形する。従って、曲げ部20cの一部は、曲げ部20cの他の部分に比べて細くなる。つまり、曲げ部20cの機械的強度は、ワイヤ20の他の部分の機械的強度よりも低くなる。

[0051] 次に、ボンディングユニット3は、キャピラリ8からのワイヤ20の繰り出しを停止した状態で、キャピラリ8を第4目標点P4と第5目標点P5との間で往復移動させる（工程S17、図6の（c）部参照）。キャピラリ8は、第5目標点P5から第4目標点P4への移動と、第4目標点P4から第5目標点P5への移動と、を繰り返す。工程S16及び工程S17において、第4目標点P4から第5目標点P5へのキャピラリ8の下降と、第5目標点P5から第4目標点P4へのキャピラリ8の上昇とを複数回繰り返す。キャピラリ8の下降及び上昇の繰り返し動作によって、曲げ部20cを起点とするワイヤ部20bとワイヤ部20dとの折り曲げ動作が複数回行なわれる。複数回行われる折り曲げ動作によって、曲げ部20cには、繰り返し応力が作用する。

[0052] 繰り返し応力は、曲げ部20cに疲労を生じさせる。疲労は、曲げ部20cの機械的強度を更に低下させる。その結果、曲げ部20cの機械的強度は、ボンディング部20aにおけるワイヤ部20bとの接続部分の機械的強度よりも低くなる。曲げ部20cは、ボンディング部20aよりも機械的強度が低い切断予定部Cとなる。切断予定部Cは、後述する工程S19及び工程S20（図7の（b）部参照）においてワイヤ20が切断される予定の部分である。工程S16及び工程S17では、キャピラリ8の下降及び上昇の繰り返し動作は、切断予定部Cの機械的強度がボンディング部20aの機械的強度よりも低くなるまで複数回行われる。

[0053] ボンディング部20aにおけるワイヤ部20bとの接続部分の機械的強度は、ワイヤ20の他の部分と比べて低くなる傾向がある。ボンディング部20aは、ワイヤ20の先端に形成されたFABをキャピラリ8が電極31Aを押圧することによって形成される。FABが電極31Aに接合される際に

、F A Bの中の金属結晶の大きさが変化する。その結果、F A BとF A B以外のワイヤ20の部分とで金属結晶の大きさが異なった状態となる。金属結晶の大きさが変化する境となるワイヤ20の境界部分では、機械的強度が低下しやすい。境界部分は、ボンディング部20aにおけるワイヤ部20bとの接続部分に相当する。従って、接続部分の機械的強度は、ワイヤ20の他の部分の機械的強度と比べて低くなりやすい。接続部分以外のワイヤ20の他の部分の機械的強度を低下させることなく、単にワイヤ20を上方向に引っ張ると、接続部分においてワイヤ20が切断されやすくなる。そこで、切断予定部Cの機械的強度を、ボンディング部20aの接続部分の機械的強度よりも低くする。その結果、接続部分においてワイヤ20が切断されることなく、切断予定部Cにおいてワイヤ20が確実に切断される。

[0054] 本開示では、キャピラリ8を第4目標点P4と第5目標点P5との間で往復移動させている。従って、第4目標点P4から第5目標点P5へのキャピラリ8の移動距離は、第5目標点P5から第4目標点P4へのキャピラリ8の移動距離と等しい。しかし、これら移動距離は、互いに等しくなくてもよい。移動距離は、互いに異なってもよい。移動距離は、キャピラリ8の下降及び上昇を繰り返す度に変化してもよい。本開示では、キャピラリ8の下降及び上昇を繰り返す際に、ワイヤクランプ9を閉じている。キャピラリ8からのワイヤ20の繰り出しを停止した状態で、キャピラリ8の下降及び上昇の繰り返しを行っている。これにより、繰り返し応力を曲げ部20cに効率的に作用させることができる。従って、曲げ部20cをボンディング部20aよりも機械的強度が低い切断予定部Cへとより確実に加工することができる。

[0055] <第4工程>

制御ユニット4は、第4制御信号をボンディングユニット3に提供する。第4制御信号は、キャピラリ8を第6目標点P6に移動させる動作（工程S18）と、キャピラリ8を第7目標点P7に移動させる動作（工程S19）と、を含む。

- [0056] 第4制御信号を受けたボンディングユニット3は、キャピラリ8からのワイヤ20の繰り出しを停止した状態で、キャピラリ8を第5目標点P5から第6目標点P6に移動させる（工程S18、図7の（a）部参照）。ワイヤ部20b、切断予定部C、及びワイヤ部20bは、キャピラリ8の上昇に応じて上方向に引っ張られる。その結果、ワイヤ部20b、切断予定部C、及びワイヤ部20bは、法線方向D1に沿った状態となる。
- [0057] 次に、ボンディングユニット3は、キャピラリ8からのワイヤ20の繰り出しを停止した状態で、キャピラリ8を第6目標点P6から第7目標点P7に移動させる（工程S19、図7の（b）部参照）。図7の（a）部に示す状態からキャピラリ8を更に上昇させる。このとき、キャピラリ8の上昇に応じてワイヤ20が軸方向（上方向）に引っ張られる。切断予定部Cの機械的強度は、ボンディング部20aの機械的強度よりも低い。切断予定部Cの機械的強度は、ワイヤ20の他の部分に比べて最も低い。ワイヤ20が軸方向に引っ張られると、ワイヤ20は、機械的強度が最も低い切断予定部Cにおいて切断される。その結果、電極31A上にピンワイヤ21Aが形成される（工程S20）。
- [0058] 次に、制御ユニット4は、ワイヤ20の先端にFABを形成する。次に、制御ユニット4は、次の段の半導体チップ12Bの電極31Bの直上の第8目標点P8にキャピラリ8を移動させる。その後、工程S11～工程S20の一連の工程を電極31Bに対して再度行う。その結果、電極31B上にピンワイヤ21Bが形成される。その後、工程S11～工程S20の一連の工程を電極31Cに対して再度行う。その結果、電極31C上にピンワイヤ21Cが形成される。その後、工程S11～工程S20の一連の工程を電極31Dに対して再度行う。その結果、電極31D上にピンワイヤ21Dが形成される。以上の工程を経て、図2に示す半導体装置10が得られる。ピンワイヤ21を形成する順番は、上述した例に限られない。例えば、最も上の段の半導体チップ12Dから最も下の段の半導体チップ12Aの順にピンワイヤ21D、21C、21B、及び21Aを形成してもよい。また、任意の順

番でピンワイヤ21を形成してもよい。

[0059] 図8を参照して、工程S14及び工程S15におけるワイヤ20の形状について詳細に説明する。キャピラリ8が第4目標点P4に位置する状態において、ワイヤ20は、ボンディング部20aと、ワイヤ部20bと、曲げ部20cと、ワイヤ部20dと、を含む。

[0060] ワイヤ部20bは、ボンディング部20aから曲げ部20cまで連続して延びるワイヤ20の部分である。ワイヤ部20bの軸方向D3は、法線方向D1及び平行軸線方向D2に対して傾斜している。ワイヤ部20bの軸方向D3は、法線方向D1の成分と平行軸線方向D2の成分とを含む。ワイヤ部20bの軸方向D3と法線方向D1とがなす角度 $\theta 1$ は、 0° よりも大きく且つ 90° よりも小さい。角度 $\theta 1$ は鋭角である。角度 $\theta 1$ は、例えば、 15° 以上且つ 65° 以下の範囲に含まれる値でもよい。好ましくは、角度 $\theta 1$ は、 25° 以上且つ 40° 以下の範囲に含まれる値としてもよい。ワイヤ部20bの軸方向D3と平行軸線方向D2とがなす角度 $\theta 2$ も、 0° よりも大きく且つ 90° よりも小さい範囲に含まれる値としてよい。角度 $\theta 2$ は、例えば、 25° 以上且つ 75° 以下の範囲に含まれる値としてよい。好ましくは、角度 $\theta 2$ は、 25° 以上且つ 40° 以下の範囲に含まれる値としてもよい。角度 $\theta 2$ は、角度 $\theta 1$ と異なってもよい。角度 $\theta 2$ は、角度 $\theta 1$ と等しくてもよい。

[0061] ワイヤ部20dは、曲げ部20cからキャピラリ8まで連続して延びるワイヤ20の部分である。ワイヤ部20dの軸方向D4は、法線方向D1及び平行軸線方向D2に対して傾斜している。ワイヤ部20dの軸方向D4は、法線方向D1の成分と平行軸線方向D2の成分とを含む。ワイヤ部20dの軸方向D4と法線方向D1とがなす角度 $\theta 3$ は、 0° よりも大きく且つ 90° よりも小さい範囲に含まれる値である。角度 $\theta 3$ は、例えば、 15° 以上且つ 65° 以下の範囲に含まれる値であってよい。好ましくは、角度 $\theta 3$ は、 25° 以上且つ 40° 以下の範囲に含まれる値としてもよい。ワイヤ部20dの軸方向D4と平行軸線方向D2とがなす角度 $\theta 4$ も、 0° よりも大き

く且つ 90° よりも小さい範囲に含まれる値である。角度 $\theta 4$ は、例えば、 25° 以上且つ 75° 以下の範囲に含まれる値であってよい。好ましくは、角度 $\theta 4$ は、 25° 以上且つ 40° 以下の範囲に含まれる値としてもよい。角度 $\theta 4$ は、角度 $\theta 3$ と異なってもよい。角度 $\theta 4$ は、角度 $\theta 3$ と等しくてもよい。

[0062] ワイヤ部20dの軸方向D4は、ワイヤ部20bの軸方向D3と交差する。ワイヤ部20dの軸方向D4は、ワイヤ部20bの軸方向D3とは異なる。ワイヤ部20dの軸方向D4とワイヤ部20bの軸方向D3とがなす角度 $\theta 5$ は、角度 $\theta 2$ と角度 $\theta 4$ との合計の値によって表される。角度 $\theta 5$ は、 0° よりも大きく且つ 180° よりも小さい範囲に含まれる値である。角度 $\theta 5$ は、例えば、 50° 以上且つ 150° 以下の範囲に含まれる値としてよい。好ましくは、角度 $\theta 5$ は、 50° 以上且つ 80° 以下の範囲に含まれる値としてもよい。

[0063] 本開示では、角度 $\theta 1$ は角度 $\theta 3$ と等しい。角度 $\theta 2$ は、角度 $\theta 4$ と等しい。曲げ部20cの中心を通る平行軸線に関して、ワイヤ部20dの形状は、ワイヤ部20bの形状と対称である。従って、ワイヤ部20bの軸方向D3の長さは、ワイヤ部20dの軸方向D4の長さと等しい。曲げ部20cの上下方向の中心を通る平行軸線から電極31Aの表面までの長さL1は、平行軸線からキャピラリ8の先端面8aまでの長さL2と等しい。長さL1と長さL2との比($L1/L2$)は、1である。長さL1と長さL2との比は、「 $L1:L2=1:1$ 」である。一例として、長さL1は、 $300\mu\text{m}$ である。長さL2も、 $300\mu\text{m}$ である。長さL1及び長さL2は、互いに等しくなくともよい。長さL1及び長さL2は、互いに異なってもよい。長さL1と長さL2との比($L1/L2$)は、0.5以上且つ2.0以下の範囲に含まれる値であってよい。好ましくは、長さL1と長さL2との比($L1/L2$)は、0.7以上且つ1.5以下の範囲に含まれる値であってよい。長さL1及び長さL2のそれぞれは、例えば、 $200\mu\text{m}$ 以上且つ $400\mu\text{m}$ 以上の範囲に含まれる値であってよい。好ましくは、長さL1及び

長さ L_2 のそれぞれは、 $250\mu\text{m}$ 以上且つ $350\mu\text{m}$ 以上の範囲に含まれる値であってもよい。

[0064] ワイヤ部20bの軸方向D3の長さは、第1目標点P1から第3目標点P3までの距離に対応する。移動距離d1及び移動距離d2を定義する。移動距離d1は、法線方向D1に沿ってキャピラリ8が第1目標点P1から第3目標点P3まで移動する距離である。移動距離d1は、平行軸線方向D2から見た場合に、キャピラリ8が第1目標点P1から第3目標点P3まで移動する距離ということもできる。移動距離d2は、平行軸線方向D2に沿って第1目標点P1から第3目標点P3までキャピラリ8が移動する距離である。移動距離d2は、法線方向D1から見た場合に、キャピラリ8が第1目標点P1から第3目標点P3まで移動する距離ということもできる。ワイヤ部20bの軸方向D3の長さは、移動距離d1と、移動距離d2とに基づいて決定される。

[0065] ワイヤ部20dの軸方向D4の長さは、第3目標点P3から第4目標点P4までの距離に対応する。ここで、移動距離d3及び移動距離d4を定義する。移動距離d3は、法線方向D1に沿って第3目標点P3から第4目標点P4までキャピラリ8が移動する距離である。移動距離d3は、平行軸線方向D2から見た場合に、キャピラリ8が第3目標点P3から第4目標点P4まで移動する距離ということもできる。移動距離d4は、平行軸線方向D2に沿って第3目標点P3から第4目標点P4までキャピラリ8が移動する距離である。移動距離d4は、法線方向D1から見た場合に、キャピラリ8が第3目標点P3から第4目標点P4まで移動する距離ということもできる。ワイヤ部20dの軸方向D4の長さは、移動距離d3と、移動距離d4とに基づいて決定される。

[0066] 本開示では、移動距離d2は、移動距離d4と等しい。移動距離d2は、キャピラリ8の先端面8aの半径Rよりも長い。移動距離d4も、キャピラリ8の先端面8aの半径Rよりも長い。先端面8aの半径Rは、例えば、 $20\mu\text{m}$ である。移動距離d3は、移動距離d1よりも僅かに長い。キャピラ

リ 8 を第 3 目標点 P 3 から第 4 目標点 P 4 に移動させたときに、曲げ部 20c は、第 3 目標点 P 3 から第 4 目標点 P 4 側に僅かにずれる。第 3 目標点 P 3 から上方への曲げ部 20c のずれ量を考慮して、移動距離 d 3 は、移動距離 d 1 よりも長く設定されている。移動距離 d 3 は、移動距離 d 1 と等しくてもよい。移動距離 d 3 は、移動距離 d 1 より短くてもよい。移動距離 d 2 は、移動距離 d 4 と等しくなくてもよい。移動距離 d 2 は、移動距離 d 4 より長くてもよい。移動距離 d 2 は、移動距離 d 4 より短くてもよい。移動距離 d 2 は、移動距離 d 1 よりも長くてもよい。移動距離 d 2 が移動距離 d 1 より長い場合、角度 $\theta 2$ を小さくすることができる。曲げ部 20c における曲げの程度を大きくすることができる。その結果、曲げ部 20c を容易に形成することができる。

[0067] キャピラリ 8 が第 4 目標点 P 4 に位置する状態において、キャピラリ 8 の先端面 8a は、ボンディング部 20a の直上に位置している。先端面 8a がボンディング部 20a の直上に位置する状態とは、法線方向 D 1 から見た場合に、先端面 8a の内部にボンディング部 20a の全体が収まっている状態をいう。換言すると、先端面 8a がボンディング部 20a の直上に位置する状態とは、法線方向 D 1 から見た場合に、ボンディング部 20a を通る電極 31 の法線の全てが先端面 8a の内部を通る状態をいう。本開示では、法線方向 D 1 から見た場合に、先端面 8a の中心軸線 CL がボンディング部 20a の中心を通るようにキャピラリ 8 の位置が設定されている。しかし、先端面 8a がボンディング部 20a の直上に位置する状態であれば、先端面 8a の中心軸線 CL は、ボンディング部 20a の中心からずれていてもよい。

[0068] 以上に説明した、本開示の半導体装置 10 の製造方法及びワイヤボンディング装置 1 の作用及び効果について、比較例が有する課題と共に説明する。

[0069] 図 9 は、第 1 比較例に係る半導体装置の製造方法が有する工程を示す。第 1 比較例に係る製造方法は、ワイヤに曲げ部を形成しない点で、本開示の半導体装置 10 の製造方法とは異なる。第 1 比較例に係る製造方法では、まず、キャピラリ 108 を用いてワイヤ 120 を半導体部品 112 の電極 131

にボンディングする。その結果、ボンディング部120aが形成される。次に、ワイヤ120を繰り出しながらキャピラリ108を上昇させる。その結果、ボンディング部120aから上方に延びるワイヤ部120bが形成される(図9の(a)部参照)。次に、ワイヤクランプを閉じた状態でキャピラリ108を上昇させる。その結果、ワイヤ120が切断される(図9の(b)部参照)。ボンディング部120aとワイヤ部120bとの接続部分は、金属結晶の大きさが変化する部分である。従って、接続部分の機械的強度は、ワイヤ120の他の部分の機械的強度に比べて低い。この状態でキャピラリ108を単に上昇させると、図9の(b)部に示すように、接続部分においてワイヤ120が切断される。従って、第1比較例に係る半導体装置の製造方法では、電極131から立ち上がる方向に延びるピンワイヤを形成することは難しい。

[0070] 図10は、第2比較例に係る半導体装置の製造方法が有する工程を示す。図11は、図10に示す工程に続く工程を示す。第2比較例に係る製造方法は、ワイヤに曲げ部(傷部分)を形成する点においては本実施形態に係る製造方法と共通する。しかし、第2比較例に係る製造方法は、ワイヤを電極から直立させた状態でワイヤを折り曲げている点で、本実施形態に係る製造方法とは異なる。第2比較例に係る製造方法では、まず、キャピラリ108を用いてワイヤ120を半導体部品112の電極131にボンディングする。その結果、ボンディング部120aが形成される。次に、ワイヤ120を繰り出しながらキャピラリ108を上昇させる。その結果、ボンディング部120aから上方に延びるワイヤ部120bが形成される(図10の(a)部参照)。次に、キャピラリ108を左方向に移動させる。次に、キャピラリ108を下降させる(図10の(b)部参照)。キャピラリ108を下降させるとき、キャピラリ108の先端の内部のエッジによってワイヤ120に傷部分120cが形成される(図10の(c)部参照)。次に、ワイヤ120を繰り出しながらキャピラリ108を上昇させる。次に、キャピラリ108を右方向に移動させる。このとき、ワイヤ部120bは、電極131の表

面の法線方向に沿う。ワイヤ部120bは、電極131の表面から直立する。

[0071] 次に、キャピラリ108を下降させる。その結果、ワイヤ120は、傷部分120cにおいて折り曲げられる(図11の(a)部参照)。ワイヤ120は、ワイヤ部120dの傷部分120cを起点としてワイヤ部120b側に折り曲がる。このとき、ワイヤ部120bの軸方向は、電極131の表面の法線方向に沿う。ワイヤ部120bの軸方向は、法線方向に沿って下降するキャピラリ108の下降方向と同じである。換言すると、ワイヤ部120bの軸方向は、キャピラリ108の押圧方向と同じである。この場合、ワイヤ部120bの軸力は、キャピラリ108の押圧力に応じて大きくなる。ワイヤ部120bの軸力が大きくなると、ワイヤ部120bに座屈が生じやすくなる(図11の(b)部参照)。ワイヤ部120bに座屈が生じると、座屈によりワイヤ部120bに曲げ部120eが形成される。このとき、キャピラリ108の下降に応じて曲げ部120eに応力が作用する。その結果、作用した応力によって曲げ部120eの機械的強度が低下する。曲げ部120eの機械的強度が低下した状態で、ワイヤクランプを閉じてキャピラリ108を上昇させる。その結果、傷部分120cではなく曲げ部120eにおいてワイヤ120が切断されてしまうことがある(図11の(c)部参照)。つまり、ワイヤ120を狙いの位置(傷部分120c)で切断することができなくなるおそれがある。その結果、狙いの高さよりも低いピンワイヤ121が形成されてしまう。従って、第2比較例に係る半導体装置の製造方法では、所望の高さのピンワイヤを形成することは難しい。

[0072] 半導体装置10の製造方法及びワイヤボンディング装置1では、ワイヤ20に曲げ部20cを形成する際、キャピラリ8を第3目標点P3を経由させた後に第4目標点P4に移動させている。その結果、キャピラリ8を第4目標点P4に移動させたときに、ワイヤ部20bの軸方向D3を法線方向D1から傾斜させることができる。この場合、ワイヤ部20bの軸方向D3は、キャピラリ8による押圧方向と異なる。換言すると、ワイヤ部20bの軸方

向D3は、キャピラリ8が下降する法線方向D1と異なる。従って、キャピラリ8を下降させたときにワイヤ部20bに座屈等の不具合が生じにくくなる。つまり、ワイヤ部20bの軸方向D3がキャピラリ8による押圧方向と異なる状態では、キャピラリ8の押圧力に応じて生じるワイヤ部20bの軸力が小さくなる。その結果、ワイヤ部20bに座屈が生じにくくなる。このような座屈等の不具合が抑制されれば、キャピラリ8を上昇させたときにワイヤ20が切断予定部C以外の部分で切断されてしまう事態が抑制される。その結果、ワイヤ20を切断予定部Cにおいて確実に切断することができる。従って、所望の高さのピンワイヤ21を容易に形成することができる。

[0073] 半導体装置10の製造方法及びワイヤボンディング装置1では、ワイヤ20を周囲の押付部に押し付けることによってワイヤ20を切断する方法を用いた場合とは異なり、空中におけるキャピラリ8の下降及び上昇の繰り返し動作によってワイヤ20を切断している。半導体装置10の製造方法及びワイヤボンディング装置1では、押付部へのワイヤ20の押付動作を行うことなく、空中でのキャピラリ8の移動動作のみによってワイヤ20を切断している。押付部へのワイヤの押付動作を行う場合、キャピラリによってワイヤを押付部に押し付ける。その結果、ワイヤに薄肉部が形成される。ワイヤの薄肉部は、ワイヤの他の部分と比べて機械的な強度が低下する。従って、薄肉部を形成した後にキャピラリを上昇させることによって、ワイヤを薄肉部において切断することができる。押付動作を行う場合、ワイヤを押し付けるためにある程度広い面積を有する押付部をワイヤの接合部の周囲に確保する必要がある。しかし、押付部を確保できる位置が限られている場合には、押付動作を行うことが困難となる。例えば、ワイヤの接合部から押付部までの距離がある程度離れてしまうと、ワイヤの接合部と押付部との間に設けられる部品が妨げとなって、接合部から押付部への押付動作を行うことができなくなる。更に、押付部の位置が限られてしまうと、押付部において形成する薄肉部の位置が限られてしまうことになる。その結果、所望の高さのピンワイヤを形成することが困難となる。これに対し、本開示の半導体装置10の

製造方法及びワイヤボンディング装置1では、上述したように、空中でのキャピラリ8の動作のみによってワイヤ20を切断することが可能である。その結果、押付部へのワイヤ20の押付動作を行うことが困難な状況下においても、所望の高さのピンワイヤ21を容易に形成することができる。

[0074] キャピラリ8を第4目標点P4に移動させたときに、曲げ部20cは、ボンディング部20aを通る電極31の法線上からずれた位置に位置している。この場合、キャピラリ8を第4目標点P4に移動させたときに、ワイヤ部20bの軸方向D3が法線方向D1から傾斜している状態をより確実に維持できる。換言すると、ワイヤ部20bの軸方向D3とキャピラリ8による押圧方向とが異なる状態をより確実に維持できる。その結果、ワイヤ部20bに座屈等の不具合が生じる事態をより確実に抑制できる。従って、切断予定部Cにおいてワイヤ20をより確実に切断することができる。

[0075] 法線方向D1から見た場合に、第3目標点P3から第4目標点P4までのキャピラリ8の移動距離は、キャピラリ8の先端面8aの半径よりも長い。この場合、キャピラリ8から曲げ部20cまでのワイヤ部20dの長さが極端に短くなる事態を抑制できる。従って、曲げ部20cに生じる繰り返し応力が極端に小さくなる事態を抑制できる。その結果、曲げ部20cをボンディング部20aよりも機械的強度が低い切断予定部Cへとより確実に加工することができる。従って、切断予定部Cにおいてワイヤ20をより確実に切断することができる。

[0076] 法線方向D1から見た場合に、第3目標点P3から第4目標点P4までのキャピラリ8の移動距離は、ボンディング部20aから第3目標点P3までのキャピラリ8の移動距離と等しい。この場合、キャピラリ8から曲げ部20cまでのワイヤ部20dの長さを、ボンディング部20aから曲げ部20cまでのワイヤ部20bの長さと同しくすることができる。これにより、曲げ部20cに生じる繰り返し応力が小さくなる事態を抑制できる。その結果、曲げ部20cをボンディング部20aよりも機械的強度が低い切断予定部Cへとより一層確実に加工することができる。従って、ワイヤ20を切断予

定部Cにおいてより一層確実に切断することができる。

[0077] キャピラリ8を第4目標点P4に移動させたときに、キャピラリ8はボンディング部20aの直上に位置している。この場合、ワイヤ部20bを電極31の表面に対して直立させた状態にすることができる。この状態でワイヤクランプ9を閉じてキャピラリ8を上昇させることによって、電極31の表面から直立した状態のピンワイヤ21を容易に得ることができる。

[0078] 工程S11から工程S20までの一連の工程を半導体部品12の半導体チップ12A、12B、12C、及び12D毎に行う。その結果、ピンワイヤ21が半導体チップ12A、12B、12C、及び12D毎に形成される。工程S11から工程S20までの一連の工程を、最も下の段の半導体チップ12Aから最も上の段の半導体チップ12Dの順に行っている。半導体部品12において、仮に、ワイヤ20を周囲の押付部に押し付けるキャピラリ8の押付動作によってワイヤ20を切断する方法を用いる場合、ある程度広い面積を有する回路基板11の主面11aを押付部として利用することが考えられる。しかし、この方法では、半導体チップ12Aにピンワイヤ21Aを形成した後、その上段の半導体チップ12Bにピンワイヤ21Bを形成しようとする、半導体チップ12Bから回路基板11の主面11aへのキャピラリ8の移動が、その途中の半導体チップ12Aに形成されたピンワイヤ21Aによって妨げられてしま。その結果、キャピラリ8の押付動作によるワイヤ20の切断を行うことができなくなってしまうことがある。これに対し、半導体装置10の製造方法及びワイヤボンディング装置1によれば、このような押付動作を行うことなく、キャピラリ8の空中での移動動作のみによってワイヤ20を切断することができる。その結果、押付動作によるワイヤ20の切断が困難な状況下においても、ピンワイヤ21を半導体チップ12A、12B、12C、及び12D毎に容易に形成することができる。

[0079] 以上、本発明の実施形態について説明したが、上記実施形態に限定されることなく様々な形態で実施してよい。

符号の説明

[0080] 1…ワイヤボンディング装置、3…ボンディングユニット、4…制御ユニット、8…キャピラリ、8a…先端面、9…ワイヤクランプ、10…半導体装置、11a…主面、12…半導体部品、12A, 12B, 12C, 12D…半導体チップ、12a, 12b, 12c, 12d…露出面、20…ワイヤ、20a…ボンディング部（接合部）、20b…ワイヤ部、20c…曲げ部、21, 21A, 21B, 21C, 21D…ピンワイヤ、31, 31A, 31B, 31C, 31D…電極、C…切断予定部、D1…法線方向、d2, d4…移動距離、P3…第3目標点（第1位置）、P4…第4目標点（第2位置）、R…半径。

請求の範囲

- [請求項1] キャピラリを用いて電極にワイヤを接合した後に、前記ワイヤの接合部よりも上方の位置であって、前記接合部を通る前記電極の表面の法線上からずれた位置である第1位置に、前記ワイヤを繰り出ししながら前記キャピラリを移動させることにより、前記ワイヤを所定の長さ引き出す第1工程と、
- 前記キャピラリを前記第1位置に移動させた後、前記第1位置よりも上方の位置であって、前記法線が延びる法線方向から見て前記第1位置に対して前記接合部側にずれた位置である第2位置に、前記ワイヤを繰り出ししながら前記キャピラリを移動させることにより、曲げ部を前記ワイヤに形成する第2工程と、
- 前記曲げ部を形成した後、前記法線方向に沿った前記キャピラリの下降及び上昇を複数回繰り返すことにより、前記曲げ部を切断予定部に加工する第3工程と、
- 前記キャピラリの下降及び上昇を複数回繰り返した後、ピンワイヤを形成するために、ワイヤクランプを閉じた状態で前記キャピラリを上昇させることにより、前記ワイヤを前記切断予定部において切断する第4工程と、を備える半導体装置の製造方法。
- [請求項2] 前記キャピラリを前記第2位置に移動させたときに、前記曲げ部は、前記接合部を通る前記法線上からずれた位置に位置する、請求項1に記載の半導体装置の製造方法。
- [請求項3] 前記法線方向から見た場合に、前記第1位置から前記第2位置までの前記キャピラリの移動距離は、前記キャピラリの先端面の半径よりも長い、請求項1又は2に記載の半導体装置の製造方法。
- [請求項4] 前記法線方向から見た場合に、前記第1位置から前記第2位置までの前記キャピラリの移動距離は、前記接合部から前記第1位置までの前記キャピラリの移動距離と同一である、請求項1～3のいずれか一項に記載の半導体装置の製造方法。

- [請求項5] 前記キャピラリを前記第2位置に移動させたときに、前記キャピラリの先端面は前記接合部の直上に位置する、請求項1～4のいずれか一項に記載の半導体装置の製造方法。
- [請求項6] 基板上において、複数の半導体チップが、各前記半導体チップの主面が露出面として露出するように階段状に積層され、
前記電極は、各前記半導体チップの前記露出面に設けられ、
前記第1工程から前記第4工程までの一連の工程を前記半導体チップ毎に行うことにより、前記ピンワイヤを前記半導体チップ毎に形成する、請求項1～5のいずれか一項に記載の半導体装置の製造方法。
- [請求項7] 前記第1工程から前記第4工程までの一連の工程を、上段の前記半導体チップから下段の前記半導体チップの順に、又は、下段の前記半導体チップから上段の前記半導体チップの順に行う、請求項6に記載の半導体装置の製造方法。
- [請求項8] 電極に対して相対移動可能に構成されたキャピラリを含むボンディングユニットと、
前記ボンディングユニットの動作を制御する制御ユニットと、を備え、
前記制御ユニットは、
前記キャピラリを用いて前記電極にワイヤを接合させた後に、前記ワイヤの接合部よりも上方の位置であって、前記接合部を通る前記電極の表面の法線上からずれた位置である第1位置に、前記ワイヤを繰り出しながら前記キャピラリを移動させることにより、前記ワイヤを所定の長さ引き出させる第1制御信号と、
前記キャピラリを前記第1位置に移動させた後、前記第1位置よりも上方の位置であって、前記法線が延びる法線方向から見て前記第1位置に対して前記接合部側にずれた位置である第2位置に、前記ワイヤを繰り出しながら前記キャピラリを移動させることにより、曲げ部を前記ワイヤに形成させる第2制御信号と、

前記曲げ部を形成させた後、前記法線方向に沿った前記キャピラリの下降及び上昇を複数回繰り返させることにより、前記曲げ部を切断予定部に加工させる第3制御信号と、

前記キャピラリの下降及び上昇を複数回繰り返させた後、ピンワイヤを形成するために、ワイヤクランプを閉じた状態で前記キャピラリを上昇させることにより、前記ワイヤを前記切断予定部において切断させる第4制御信号と、を前記ボンディングユニットに提供する、ワイヤボンディング装置。