

明 細 書

発明の名称：半導体装置および半導体装置の製造方法

技術分野

[0001] 本発明は、半導体装置の構造および半導体装置の製造方法に関する。

背景技術

[0002] 近年、半導体装置の大容量化の要求から、複数の半導体チップを基板あるいはリードフレーム上に積層して構成した積層型半導体装置が多く用いられるようになってきている。また、このような積層型半導体装置では、同時に薄型化、小形化の要請があることから、各層の半導体チップのパッドとリードフレームとを別々に接続するのではなく、隣接する各半導体チップのパッド間又は半導体チップのパッドとリードフレームのリードとの間をワイヤによって順次接続するワイヤボンディング方法が用いられている。この方法では、ワイヤボンディングの際に半導体チップにダメージを与えないように、まず、各半導体チップの各パッド上にバンプを形成し、その後、リードフレームのリードから半導体チップのパッドの上に向けて逆ボンディングを行い、更に、ボンディングがされたバンプ上から隣接する半導体チップのバンプの上に向けて次の逆ボンディングを行うようにしてワイヤをリードフレームから最上層の半導体チップのパッドに向けて順次接続する方法が用いられている（例えば、特許文献 1 参照）。

[0003] また、積層型半導体装置の中間層にある各パッド面にバンプを形成し、最上層の半導体チップのパッドにボールボンディングを行い、ワイヤを中間層のパッド上に形成したバンプ上にルーピングしてバンプ上にボンディングし、その後さらにワイヤを次の半導体チップのバンプ上にルーピングしてボンディングを行うようにして、隣接する中間層のパッド間をワイヤで接続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

[0004] 特許文献1：特許第3 5 7 3 1 3 3号明細書

特許文献2：特許第3 6 6 2 4 6 1号明細書

発明の概要

発明が解決しようとする課題

[0005] しかし、特許文献1に記載された従来技術は、各半導体チップのパッドにバンプを形成した後にワイヤボンディングを行うことから、工程数が多く、ボンディングに時間、コストがかかるという問題があった。例えば、二層に積層された積層型半導体の各パッドとリードとの接続は、二層の各半導体チップのパッドにそれぞれのバンプを形成する工程（2工程）と、リードと一層目の半導体チップのパッド上のバンプとの間のボンディングと、一層目のバンプと二層目の半導体チップのパッド上のバンプとの間のボンディングとの合計4工程が必要となる。また、特許文献2に記載された従来技術では中間層にある半導体チップのパッドにバンプを形成した後にボンディングを行うことから、特許文献1に記載された従来技術よりも工程数は少なくなるものの、ボンディング工程とは別にバンプ形成工程を設けることが必要で工程数が多いという問題は解決されていない。

[0006] また、半導体チップには、パッドが半導体チップの表面よりも凹んでいるものが用いられることも多い。このように半導体チップの表面から凹んでいるパッドの上にボンディングをする場合、キャピラリの先端がパッド周辺の半導体チップの表面に当たることを抑制するために、ワイヤの押し付け量（キャピラリ沈み込み量）を多くすることができない。このため、特許文献1、2に記載された従来技術のように、パッドの上に一旦バンプを形成した後、そのバンプの上にボンディングをすることが必要となり、効率的なボンディングができないという問題があった。

[0007] 本発明は、半導体装置において、半導体チップに与えるダメージを低減しつつ少ないボンディング回数でワイヤの接続を行うことを目的とする。また、本発明は、半導体チップの表面から凹んでいる電極に対して効率的にボンディングを行うことを目的とする。

課題を解決するための手段

- [0008] 本発明の半導体装置は、その側面が電極に接合されている接合部と、接合部から他の電極上までルーピングされているルーピング部と、が交互に形成されて、3つ以上の電極を順次接続する共通のワイヤを備えること、を特徴とする。
- [0009] 本発明の半導体装置において、電極は、半導体チップのパッドであること、としても好適であるし、半導体装置は、半導体チップを積層した積層体であり、共通のワイヤは、隣接層の半導体チップの電極間を順次接続すること、としても好適である。
- [0010] 本発明の半導体装置において、接合部は、共通のワイヤの直径の $1/4 \sim 1/2$ の厚さに押しつぶされた扁平形状であり、ルーピング部は、接合部から斜め上方向に折れ曲がって伸びるヒールを有し、ヒールの厚さは、共通のワイヤの直径の $1/2 \sim 4/5$ の厚さであること、としても好適である。
- [0011] また、本発明の半導体装置において、電極は、半導体チップの表面から凹んでおり、接合部の厚さは、電極の凹み深さよりも厚いこと、としても好適である。
- [0012] 本発明の半導体装置の製造方法は、3つ以上の半導体チップまたは基板の電極を共通のワイヤによって順次接続するワイヤボンディング方法であって、キャピラリによってワイヤの側面を一の電極に押し付けて、ワイヤの側面を一の電極に接合する接合工程と、接合工程の後、キャピラリによってワイヤを他の電極上までルーピングするルーピング工程と、を交互に繰り返して3つ以上の電極を共通のワイヤによって順次接続すること、を特徴とする。
- [0013] 本発明の半導体装置の製造方法において、接合工程は、キャピラリによって共通のワイヤをその直径の $1/4 \sim 1/2$ の厚さに押しつぶして扁平形状にすると共に超音波加振を行って共通のワイヤを各電極に接合すること、としても好適である。
- [0014] 本発明の半導体装置の製造方法において、ルーピング工程は、接合工程の後、一の電極からキャピラリを垂直に上昇させる第一上昇工程と、第一上昇

工程の後、他の電極の方に向かって斜め下方向にキャピラリを移動させる第一の斜め移動工程と、第一の斜め移動工程の後、再度、キャピラリを垂直に上昇させる第二上昇工程と、第二上昇工程の後、他の電極と反対側に向って斜め下方向にキャピラリを移動させるリバース工程と、リバース工程の後、一の電極直上まで斜め上方向にキャピラリを移動させる第二の斜め移動工程と、第二の斜め移動工程の後、再度、キャピラリを垂直に上昇させる第三上昇工程と、第三上昇工程の後、他の電極の直上に向って弧状にキャピラリを移動工程と、第三上昇工程の後、他の電極の直上に向って弧状にキャピラリを移動させること、としても好適である。

[0015] 本発明の半導体装置の製造方法において、リバース工程は、接合部を通る電極に垂直な線に対する角度が $10 \sim 20^\circ$ となる点までキャピラリを移動させること、としても好適である。

[0016] 本発明の半導体装置の製造方法において、電極のうちの少なくとも1つは、半導体チップの表面から凹んだパッドであり、接合工程は、キャピラリによって共通のワイヤをパッドの凹み深さよりも厚い厚さに押しつぶして扁平形状にすると共に超音波加振を行って共通のワイヤをパッドに接合すること、としても好適である。

発明の効果

[0017] 本発明は、半導体装置において、半導体チップに与えるダメージを低減しつつ少ないボンダイング回数でワイヤの接続を行うことができるとともに、半導体チップの表面から凹んでいる電極に対して効率的にボンダイングを行うことができるという効果を奏する。

図面の簡単な説明

[0018] 図1 本発明の実施形態における半導体装置の構造を示す断面図である。
図2 本発明の実施形態における半導体装置の接合部を示す斜視図である。
図3 本発明の実施形態における半導体装置の接合部を形成する工程を示す説明図である。

図4 本発明の実施形態における半導体装置の接合部の側面図である。
図5 本発明の実施形態における半導体装置を製造するワイヤボンダイング装

置の系統図である。

[図6]図5に示したワイヤボンディング装置を用いて本発明の半導体装置を製造する工程を示す説明図である。

[図7]図5に示したワイヤボンディング装置を用いて本発明の半導体装置を製造する工程を示す説明図である。

[図8]本発明の半導体装置を製造する際のルーピング工程におけるキャピラリ先端の軌跡を示す説明図である。

[図9]本発明の他の実施形態における半導体装置の接合部の側面図である。

発明を実施するための形態

[0019] 以下、図面を参照しながら本発明の実施形態について説明する。図1に示すように、本実施形態の半導体装置100は、基板10の上に複数層に半導体チップ56～51が積層された積層体で、各半導体チップ56～51の表面に設けられた電極であるパッド66～61を1本の共通のワイヤ12によって順次接続したものである。図1に示すように、半導体チップ56～51は互いに隣接する層の半導体チップであり、各パッド66～61は互いに隣接する層のパッドである。また、各パッド66～61は互いに隣接するパッドでもある。共通のワイヤ12は金線であってもよいし、アルミ線、銅線等であってもよい。共通のワイヤ12は、最上段の半導体チップ56のパッド66の上にボールボンディングされ、パッド66の上には圧着ボール90が形成されている。圧着ボール90側の始端部86aから次の段の半導体チップ55のパッド65の側の終端部86bに向かってワイヤ12が弧状にルーピングされたルーピング部86が形成されている。ルーピング部86の終端部86bではワイヤ12の側面がパッド65の上に押圧、接合されて接合部75が形成されている。そして、再び、接合部75側の始端部85aから次の層の半導体チップ54のパッド64側の終端部85bに向かってワイヤ12が弧状にルーピングされ、パッド65側の始端部85aからパッド64側の終端部85bに向かう弧状のルーピング部85が形成されている。ルーピング部85の終端部85bではワイヤ12の側面がパッド64の上に押圧、

接合されて接合部 7 4 を形成している。同様に、ルーピング部 8 4、接合部 7 3、ルーピング部 8 3、接合部 7 2、ルーピング部 8 2、接合部 7 1 が順次形成され、最後にパッド 6 1 から基板 1 0 の電極 7 0 の上にワイヤ 1 2 がルーピングされてその側面が電極 7 0 の上に接合された後に切断される。このように、本実施形態の半導体装置 1 0 0 では、1 つの共通のワイヤ 1 2 によって各半導体チップ 5 6 ~ 5 1 の各パッド 6 6 ~ 6 1、及び基板 1 0 の電極 7 0 とが順次接続されている。

[0020] つまり、本実施形態の半導体装置 1 0 0 は、図 1 に示すように、ルーピング部 8 6 ~ 8 2、接合部 7 5 ~ 7 1 を交互に形成して、隣接層の半導体チップ 5 5 ~ 5 1 の 5 つのパッド 6 5 ~ 6 1 を 1 本のワイヤ 1 2 で順次接続しているものである。なお、本実施形態では、最上段の半導体チップ 5 6 のパッド 6 6 にボールボンディングを行ってワイヤ 1 2 とパッド 6 6 とを接合することとして説明したが、接合の方法はこれに限らず、接合部 7 5 ~ 7 2 のように、ワイヤ 1 2 の側面をパッド 6 6 の面に接合するようにしてもよい。

[0021] 次に図 2 ~ 図 4 を参照しながら、本実施形態の半導体装置 1 0 0 の接合部 7 5 ~ 7 1、ルーピング部 8 6 ~ 8 2 の終端部 8 6 b ~ 8 2 b、ルーピング部 8 5 ~ 8 1 の始端部 8 5 a ~ 8 1 a の詳細について説明する。図 2 に示すように、接合部 7 5 ~ 7 1 は厚さ（高さ） H_1 の長円形の扁平な板状で、ルーピング部 8 6 ~ 8 2 の終端部 8 6 b ~ 8 2 b とルーピング部 8 5 ~ 8 1 の始端部 8 5 a ~ 8 1 a とはそれぞれ接合部 7 5 ~ 7 1 の各長径端から斜め上方向に向かって伸びると共に、その断面形状が扁平形状から直径 D の円形に変化していくものである。図 2 に示すように、ルーピング部 8 5 ~ 8 1 の始端部 8 5 a ~ 8 1 a はパッド 6 6 ~ 6 1 の面に対して角度 θ_1 で斜め上方向に伸びており、ヒール部 7 5 b ~ 7 1 b の厚さ（高さ）は厚さ（高さ） H_2 である。

[0022] 図 3 に示すように、接合部 7 5 ~ 7 1 は、キャピラリ 1 6 の先端面 1 6 b を図 3 に示す矢印 p のようにワイヤ 1 2 の側面に押し付け、直径 D の円形断面のワイヤ 1 2 を厚さ（高さ） H_1 の円形あるいは長円形の扁平な板状に押し

つぶしたものである。接合部 75～71 の厚さ（高さ） H_1 はワイヤ 12 の直径 D の $1/4 \sim 1/2$ 程度の厚さ（高さ）である。そして、ワイヤ 12 はキャピラリ 16 の先端面 16b によって扁平形状につぶされると共に、図 3 の横方向の矢印 q に示すように水平方向に超音波振動が加えられ、これによって、図 3 に示す金属接合部 75a～71a が形成され、ワイヤ 12 の側面がパッド 65～61 の上に金属接合されている。

[0023] また、図 4 に示すように、接合部 75～71 の金属接合部 75a～71a に隣接した部分では、ワイヤ 12 の側面はパッド 65～61 の表面に接した状態となっており、図 4 の点 75c～71c においてパッド 65～61 の表面から立ち上がり、角度 θ_1 で斜め上方に伸びてルーピング部 85～81 の始端部 85a～81a につながっている。図 4 に示す接合部 75～71 から点 75c～71c を経てルーピング部 85～81 の始端部 85a～81a につながるまでの部分がヒール部 75b～71b である。ヒール部 75b～71b の接合部 75～71 側の断面は、接合部 75～71 と同様、ワイヤ 12 の直径 D の $1/4 \sim 1/2$ の扁平形状となっており、始端部 85a～81a に向うにつれてワイヤ 12 と同様の直径 D の円形断面形状となる。図 4 に示すように、点 75c～71c のヒール部 75b～71b の厚さ（高さ） H_2 は、ワイヤ 12 の直径 D の $1/2 \sim 4/5$ 程度であり、接合部 75～71 の厚さ（高さ）の約 2 倍の厚さ（高さ）となっている。

[0024] 接合部 75～71 は、ワイヤ 12 の直径 D の $1/4 \sim 1/2$ の厚さ（高さ） H_1 までしか押しつぶされていないので、ヒール部 75b～71b につながる十分な強度を持っている。また、ヒール部 75b～71b の厚さ（高さ） H_2 は、ルーピングの際にワイヤ 12 がヒール部 75b～71b からルーピング部 85～81 の始端部 85a～81a にクラック等の損傷が発生することなくつながっていくことができる厚さ（高さ）である。ヒール部 75b～71b の角度 θ_1 は、 $45 \sim 60^\circ$ 程度とすることが好適である。また、後で説明するように、接合部 75～71 を形成する際に超音波振動子の入力電圧を通常のセカンドボンディングの 1.5 倍程度にしているため、少ない押しつ

ぶし量でも金属接合部 75 a ~ 71 a が十分に形成され、ワイヤ 12 の側面とパッド 66 ~ 61 との接合強度が十分となり、ルーピングの際にワイヤ 12 がパッド 66 ~ 61 から剥がれることはない。

[0025] 以上説明した実施形態では、接合部 75 ~ 71 の厚さ（高さ） H_1 は、ワイヤ 12 の直径 D の $1/4 \sim 1/2$ として説明したが、これに限らず、例えば、ワイヤ 12 の直径 D の $8/30 \sim 12/30$ であってもよいし、ワイヤ 12 の直径 D の $9/30 \sim 11/30$ あるいは $1/3$ 程度であればなお好ましい。また、ヒール部 75 b ~ 71 b の厚さ（高さ） H_2 は、ワイヤ 12 の直径 D の $1/2 \sim 4/5$ として説明したが、これに限らず、例えば、ワイヤ 12 の直径 D の $16/30 \sim 24/30$ としてもよいし、 $18/30 \sim 22/30$ あるいは $2/3$ 程度であればなお好ましい。

[0026] 次に図 5 ~ 図 8 を参照してワイヤボンディング装置 101 によって図 1 ~ 図 4 を参照して説明した実施形態の半導体装置 100 を製造する工程について説明する。まず、図 5 を参照しながら半導体装置 100 の製造に用いるワイヤボンディング装置 101 について説明する。図 5 において、信号線は 1 点鎖線で示す。図 5 に示すように、ワイヤボンディング装置 101 は、XY テーブル 20 と、XY テーブル 20 の上に設置されたボンディングヘッド 19 と、基板 10 を吸着固定するボンディングステージ 14 とを備えている。ボンディングヘッド 19 には Z 方向モータによって回転中心 28 の回りに駆動されるボンディングアーム 13 が取り付けられ、その先端には超音波ホーン 13 b が取り付けられ、超音波ホーン 13 b の先端はボンディングステージ 14 の表面に対して弧状に接離動作するように構成されている。超音波ホーン 13 b の先端は、ボンディングステージ 14 の表面の近傍では上下方向である Z 方向に移動する。また、超音波ホーン 13 b の根元には、超音波振動子 15 が取り付けられおり、超音波ホーン 13 b の先端に取り付けられたキャピラリ 16 を超音波加振するよう構成されている。XY テーブル 20 とボンディングヘッド 19 は移動機構 18 を構成し、移動機構 18 は XY テーブル 20 によってボンディングヘッド 19 をボンディングステージ 14 の表

面に沿った面内(XY面内)で自在な位置に移動することができ、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13bの先端及びその先端に取り付けられたキャピラリ16をXYZの方向に自在に移動させることができる。

[0027] 図5に示すように、ワイヤボンディング装置101は内部にCPUを持つ制御部31によって各部の位置の検出及び動作の制御が行われる。XYテーブル20には、ボンディングヘッド19のXY方向位置を検出するXY位置検出手段が内蔵されている。また、ボンディングヘッド19にはボンディングアーム13の回転中心28の回りの回転角度を検出することによってキャピラリ16先端のZ方向高さを検出するキャピラリ高さ検出器29が設けられている。キャピラリ高さ検出器29は回転角度を検出するものでなく、ボンディングアーム13先端やキャピラリ16先端の位置を直接検出するようなものであってもよい。また、キャピラリ高さ検出器29も非接触式であってもよいし、接触式であってもよい。

[0028] キャピラリ高さ検出器29の検出信号はキャピラリ高さ検出インターフェース36を介してデータバス39からCPUを含む制御部31に入力される。また、XYテーブル20とボンディングヘッド19によって構成される移動機構18、クランプ開閉機構27、超音波振動子15はそれぞれ移動機構インターフェース38、クランプ開閉機構インターフェース35、超音波振動子インターフェース37を介してデータバス39から制御部31に接続され、制御部31からの指令によって各機器が動作するように構成されている。

[0029] データバス39には記憶部32が接続されている。記憶部32には、ボンディング制御全般をコントロールする制御プログラム33と制御部31の行う位置検出処理や制御指令出力動作に必要な制御データ34とが格納されており、制御部31とデータバス39と記憶部32と各インターフェース35～38とは、一体として構成されたコンピュータ30である。

[0030] 以上のように構成されたワイヤボンディング装置101によって図1に示

す半導体装置 100 を製造する方法について説明する。図 5 に示すように、ボンディングステージ 14 の表面には、図示しないダイボンダ装置等によって大きさの異なる半導体チップ 56 ~ 51 が階段状に積層固定された基板 10 が吸着固定されている（図 1 では積層数を省略して図示してある）。また、図 6（a）に示すように、キャピラリ 16 は最上段の半導体チップ 56 のパッド 66 の直上に位置し、その先端の高さは、高さ C1 となっている。

[0031] 制御部 31 は、図 6 の時刻 t1 にキャピラリ 16 を高さ C1 から最上段の半導体チップ 56 のパッド 66 に向って降下させてボールボンディングを開始する。キャピラリ 16 の高さは、図 5 に示すキャピラリ高さ検出器 29 によって検出され、キャピラリ高さ検出インターフェース 36 から制御部 31 に入力される。制御部 31 は、図 6 の時刻 t2 にキャピラリ 16 の高さが高さ C3 まで降下した信号が入力されると、キャピラリ 16 の降下速度を遅くして、キャピラリ 16 先端のフリーエアボール 80 がパッド 66 の表面に接地するかどうかをサーチしながら更にキャピラリ 16 を降下させていく。そして、制御部 31 は、図 6 の時刻 t3 にキャピラリ 16 が高さ C4 となり、フリーエアボール 80 がパッド 66 の表面に接地した信号を検出したら、更に、キャピラリ 16 を降下させてフリーエアボール 80 をパッド 66 の表面に押し付けて圧着ボール 90 とする。それと共に、制御部 31 は、図 5 に示す超音波振動子 15 に通電して超音波振動を発生させ、キャピラリ 16 によって所定の時間だけ圧着ボール 90 を超音波加振してパッド 66 の表面に金属接合する。接地の検出は、例えば、キャピラリ高さ検出器 29 により検出される信号が所定の単位時間当たりに変化しない場合には、接地と判断してもよく、また、半導体チップ 56 とワイヤ 12 との間に電圧をかけておき、半導体チップ 56 とワイヤ 12 との間に電流が流れることを検出するようにしてもよい。

[0032] 制御部 31 は、図 6 の時間 t4 にボールボンディングが終了したら、図 6（c）、図 6（d）に示すようにセカンドボンディングを開始する。制御部 31 は、キャピラリ 16 を高さ C2 まで上昇させた後、次の段の半導体チッ

プ55のパッド65に向けてキャピラリ16の先端を弧状に動かしてキャピラリ16をパッド65の直上まで移動させると共に、キャピラリ16を高さC5まで降下させる。そして、制御部31は、図6の時刻t5にキャピラリの高さがC5となったら、キャピラリ16の降下速度を遅くして、キャピラリ16先端のワイヤ12の側面がパッド65の表面に接地するかどうかをサーチしながら更にキャピラリ16を降下させていく。そして、制御部31は、図6の時刻t6にキャピラリ16が高さC8となり、ワイヤ12の側面がパッド65の表面に接地した信号を検出したら、図3に示すように、キャピラリ16の先端面16bをワイヤ12の側面に押し付ける。制御部31は図5に示すキャピラリ高さ検出器29によってキャピラリ16の沈み込み量、すなわち、ワイヤ12の押しつぶし量を検出し、ワイヤ12の直径Dの $2/3$ 程度ワイヤ12を押しつぶし、接合部75の厚さ（高さ） H_1 がワイヤ12の直径Dの $1/3$ 程度となるまでワイヤ12を押圧する。そして、接合部75の厚さ（高さ） H_1 がワイヤ12の直径Dの $1/3$ 程度となると押圧を停止する。また、ワイヤ12の押圧と共に、制御部31は、図5に示す超音波振動子15に通電して超音波振動を発生させ、キャピラリ16によって所定の時間だけ接合部75を超音波加振してパッド65の表面との間に金属接合部75aを形成する。図7に示す時刻t7に接合部75が形成されると、パッド66とパッド65とがルーピング部86によって接続される。ルーピング部86は、図2、図4を参照して説明したようにパッド66の側の始端部86aとパッド65の側の終端部86bとを備えており、終端86bは接合部75につながっている。接合部75を形成すると、パッド65へのセカンドボンディングが終了する。セカンドボンディングが終了すると、図3に示すように、キャピラリ16の孔16aに挿通されたワイヤ12はパッド65から略垂直上方に伸びている。

[0033] パッド65へのセカンドボンディングが終了したら、制御部31は、図8に示すように、キャピラリ16の先端を移動させるルーピングを行う。制御部31は、パッド65から垂直上方にキャピラリ16を図8の点aまで上昇

させる（第一上昇工程）。次に図8に示す点aから点bに向って、つまり、パッド65から次にボンディングを行うパッド64の方向に向かって、キャピラリ16を円弧状に斜め下方向に移動させる（第一の斜め移動工程）。次に、制御部31は、キャピラリ16を点bから点cまで垂直に上昇させる（第二上昇工程）。キャピラリ16を点cまで移動させたら、制御部31は、リバース工程を行う。リバース工程は、点cから次のパッド64と反対側に向ってキャピラリ16を円弧状に斜め下方向に点dまで移動させる。点dは、接合部75を通るパッド65に垂直な線（第一上昇工程の際のキャピラリ16の軌跡）に対する角度が $10 \sim 20^\circ$ となる点である。キャピラリ16が点dまで移動すると、図7（e）に示すように、キャピラリ16の先端には曲げ癖がついたワイヤ12が接合部75から伸びた状態となっている。次に、制御部31は、先のリバース工程における点cから点dまでのキャピラリ16の軌跡に沿ってキャピラリ16を次のパッド64に向って斜め上方向に移動させ、キャピラリ16の位置をパッド65の直上の点eとする（第二の斜め移動工程）。そして、制御部31は、点eから点fまでキャピラリ16を再度垂直に上昇させる（第三上昇工程）。その後、制御部31は、点fからパッド64の直上の点gまでキャピラリ16を弧状に移動させる。このように、パッド65から、第一上昇工程、第一の斜め移動工程、第二上昇工程、リバース工程、第二の斜め移動工程、第三上昇工程のようにキャピラリ16を移動させた後、キャピラリ16をパッド64直上の点gに向って弧状に移動させることによって、図2、図4を参照して説明したような形状のヒール部75b～71bとルーピング部85の始端部85aが形成される。特に、リバース工程において、接合部75を通るパッド65に垂直な線（第一上昇工程の際のキャピラリ16の軌跡）に対する角度が $10 \sim 20^\circ$ となる点dまでキャピラリ16を移動させることによって、ヒール部75bの厚さ（高さ） H_2 と斜め上方 $45 \sim 60^\circ$ の角度 θ_1 とが形成される。

[0034] そして、図7に示す時間t8にキャピラリ16が高さC9まで降下してくると、先にパッド65への接合部75の形成と同様、キャピラリ16の降下

速度を小さくして、キャピラリ 16 先端のワイヤ 12 の側面がパッド 64 に接地したかどうかを検出するサーチ動作を行い、図 7 の時刻 t_9 にキャピラリ 16 が高さ C_{10} となり、ワイヤ 12 の側面がパッド 64 の表面に接地した信号を検出したら、図 3 に示すように、キャピラリ 16 の先端面 16 b をワイヤ 12 の側面に押し付け、キャピラリ高さ検出器 29 によってキャピラリ 16 の沈み込み量を制御しながら、接合部 74 の厚さ（高さ） H_1 がワイヤ 12 の直径 D の $1/3$ 程度となるまでワイヤ 12 を押圧すると共に超音波振動子 15 に通電して超音波振動を発生させ、キャピラリ 16 によって所定の時間だけ接合部 74 を超音波加振してパッド 64 の表面との間に金属接合部 74 a を形成する。図 7 の時刻 t_{10} に接合部 74 が形成されると、パッド 65 とパッド 64 とが始端部 85 a と終端部 85 b を有するルーピング部 85 によって接続される。接合部 74 を形成すると、パッド 64 へのセカンドボンディングが終了する。

[0035] 図 7 の時刻 t_{10} にパッド 64 へのセカンドボンディングが終了したら、制御部 31 は、先に説明したパッド 65 とパッド 64 との間の接続と同様、図 7 (g)、図 7 (h) に示すように、パッド 64 から図 8 に示す点 a から f のような軌跡でキャピラリ 16 を移動させた後、パッド 63 に向ってキャピラリ 16 をルーピングさせ、図 7 の時刻 t_{11} にキャピラリ 16 が高さ C_{11} となったらキャピラリ 16 の降下速度を小さくしてサーチを行いながらワイヤ 12 の側面がパッド 63 の表面に接するまでキャピラリ 16 を降下させ、図 7 の時刻 t_{12} に接地を検出したら、キャピラリ高さ検出器 29 によってキャピラリ 16 の高さを検出しながらワイヤ 12 をパッド 63 に押圧すると共に超音波振動子 15 に電圧を印加し、接合部 73 を超音波加振して図 3 に示す金属接合部 73 a を形成する。

[0036] 以下、同様にパッド 63 とパッド 62、パッド 62 とパッド 61 とを 1 本の共通のワイヤ 12 によって順次接続していく。そして、パッド 61 へのセカンドボンディングが終了したら、制御部 31 は、キャピラリ 16 を基板 10 の電極 70 に向ってルーピングし、基板 10 の電極 70 の上に通常のセカ

ンドボンディングを行った後、キャピラリ 16 を上昇させた後、図 5 に示す クランパ 17 を閉じてキャピラリ 16 をさらに上昇させて、ワイヤ 12 を切断し、1 本のワイヤ 12 のボンディングを終了する。ここで、基板 10 の電極 70 への通常のセカンドボンディングは、ワイヤ 12 への切断がスムーズに行えるように、ワイヤ 12 の押しつぶし量が接合部 75～71 を形成する際のワイヤ 12 の押しつぶし量の 2 倍以上であり、押圧荷重も接合部 75～71 を形成する際の押圧荷重よりも非常に大きくなっている。一方、押圧荷重が大きいので、超音波加振が少なくても十分にワイヤ 12 と電極 70 とを金属接合できることから、超音波振動子 15 に印加する電圧は接合部 75～71 を形成する際の電圧よりも小さく、例えば、 $1/1.5$ 程度となっている。

[0037] 以上説明した本実施形態では、ワイヤ 12 の押しつぶし量がボンディングの後にワイヤ 12 を切断してワイヤテールを形成する通常のセカンドボンディングの際の押しつぶし量の半分程度と少なく、ワイヤ 12 の押圧荷重も少ないので、ワイヤ 12 の側面を半導体チップ 55～51 のパッド 65～61 の表面に直接ボンディングしても半導体チップ 55～51 に与えるダメージが小さくなる。また、超音波加振は、通常のセカンドボンディングの際の 1.5 倍程度の電圧を超音波振動子 15 に印加することによって行い、押圧荷重が少なくても十分に図 3 に示す金属接合部 75a～71a が形成でき、ワイヤ 12 とパッド 65～61 との接合強度を確保している。さらに、接合部 75～71 の厚さ（高さ） H_1 をワイヤ 12 の直径 D の $1/3$ 程度の厚さ（高さ）とすることにより、ルーピング部 86～82 の終端部 86b～82b およびルーピング部 85～81 の始端部 85a～81a が接合部 75～71 とスムーズにつながり、クラック等が発生せず、良好にワイヤ 12 の側面をパッド 65～61 にボンディングすることによってパッド 65～パッド 61 を 1 本のワイヤ 12 によって接続することができる。

[0038] また、本実施形態では、キャピラリ高さ検出器 29 によってキャピラリ 16 の高さを検出してワイヤ 12 の押しつぶし量を制御して接合部 75～71

の高さをワイヤ12の直径Dの $1/3$ 程度にすることとして説明したが、ワイヤ12の直径Dや材料別に押圧荷重とワイヤ12の押しつぶし量との関係をマップにしておき、キャピラリ16の押圧荷重を検出することによってワイヤ12の押しつぶし量を制御して接合部75～71の高さがワイヤ12の直径Dの $1/3$ 程度となるとようにしてもよい。この場合も、通常のセカンダボンディングよりも押圧荷重を低減することができるので、半導体チップ55～51へのダメージを抑制することができる。

[0039] 以上述べたように、本実施形態のワイヤボンディング方法は、半導体チップ55～51に与えるダメージを低減しつつ少ないボンディング回数で共通のワイヤ12の接続を行うことができるので、効率的に半導体装置100を製造することができる。また、本発明の半導体装置100は1本のワイヤ12で半導体チップ55～51の各パッド65～61を順次接続していくので、各パッド65～61とワイヤ12との間の金属接合面が一つとなるので、パッド65～61の上にバンプを形成してボンディングする場合に比べて各パッド65～61と共通のワイヤ12との間の導通抵抗が少なくなることから、各パッド65～61の間の電氣的な接続抵抗を低減することができ、信頼性の高い半導体装置とすることができる。

[0040] 次に、図9を参照しながら本発明の他の実施形態について説明する。先に図1～図8を参照して説明した実施形態と同様の部分には同様の符号を付して説明は省略する。先に図1から図8を参照して説明した実施形態では、半導体チップ56～51の各パッド66～61は各半導体チップ56～51の表面から突出した形状として説明したが、半導体チップ56～51ではパッド66～61が半導体チップ56～51の表面より凹んだ凹部となっているものもある。このような凹部形状のパッド65～61にワイヤ12の側面を押し付けて接合部75～71を形成する際には、図3に示すキャピラリ16の先端面16bが、半導体チップ55～51の表面にぶつからないようにすることが必要である。この場合、パッド65～61の凹み深さ D_1 よりも接合部75～71の厚さ（高さ） H_1 が高くなるように、ボンディングの際のキャ

ピラリ 16 の沈み込み量を制御する。また、凹み深さ D_1 がワイヤ 12 の直径 D の $1/3$ 程度よりも深い場合には、接合部 75 ~ 71 の厚さ（高さ） H_1 が $1/3$ よりも厚くなるので、接合部 75 ~ 71 の金属接合部 75 a ~ 71 a の接合強度を確保するために、超音波振動子 15 に入力する電圧をより大きくするようにしてもよい。上記の点以外は、本実施形態は、図 1 ~ 図 8 を参照して説明した半導体装置 100 と同様であり、その製造工程も同様である。

[0041] 本実施形態の効果は先に説明した実施形態に加えて、各パッド 65 ~ 61 が各半導体チップ 55 ~ 51 の表面よりも凹んでいる場合でも、ワイヤ 12 と各パッド 65 ~ 61 との接合強度を確保することができるので、半導体チップ 55 ~ 51 の表面から凹んでいるパッド 65 ~ 61 に対しても一旦バンパを形成したりすることなく、ワイヤ 12 の側面を直接パッド 65 ~ 61 の表面にボンディングすることができるので、半導体チップ 55 ~ 51 の表面よりもパッド 65 ~ 61 が凹んでいる場合でも、短時間でボンディングを行うことができるという効果を奏する。

[0042] 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ない全ての変更及び修正を包含するものである。

符号の説明

[0043] 10 基板、12 ワイヤ、13 ボンディングアーム、13 b 超音波ホーン、14 ボンディングステージ、15 超音波振動子、16 キャピラリ、16 a 孔、16 b 先端面、17 クランパ、18 移動機構、19 ボンディングヘッド、20 XYテーブル、27 クランパ開閉機構、28 回転中心、29 キャピラリ高さ検出器、30 コンピュータ、31 制御部、32 記憶部、33 制御プログラム、34 制御データ、35 クランパ開閉機構インターフェース、36 キャピラリ高さ検出インターフェース、37 超音波振動子インターフェース、38 移動機構インターフェース、39 データバス、51 ~ 56 半導体チップ、61 ~ 66 パ

ッド、70 電極、71～75 接合部、71a～75a 金属接合部、71b～75b ヒール部、71c～75c 点、80 フリーエアボール、81～86 ルーピング部、81a～86a 始端部、86b～82b 終端部、90 圧着ボール、100 半導体装置、101 ワイヤボンディング装置。

請求の範囲

- [請求項1] 半導体装置であって、
 その側面が電極に接合されている接合部と、前記接合部から他の電極上までルーピングされているルーピング部と、が交互に形成されて、3つ以上の電極を順次接続する共通のワイヤを備える半導体装置。
- [請求項2] 請求項1に記載の半導体装置であって、
 前記電極は、半導体チップのパッドである半導体装置。
- [請求項3] 請求項2に記載の半導体装置であって、
 前記半導体装置は、前記半導体チップを積層した積層体であり、
 前記共通のワイヤは、隣接層の半導体チップの電極間を順次接続する半導体装置。
- [請求項4] 請求項1に記載の半導体装置であって、
 前記接合部は、前記共通のワイヤの直径の $1/4 \sim 1/2$ の厚さに押しつぶされた扁平形状であり、
 前記ルーピング部は、前記接合部から斜め上方向に折れ曲がって伸びるヒール部を有し、前記ヒール部の厚さは、前記共通のワイヤの直径の $1/2 \sim 4/5$ の厚さである半導体装置。
- [請求項5] 請求項2に記載の半導体装置であって、
 前記接合部は、前記共通のワイヤの直径の $1/4 \sim 1/2$ の厚さに押しつぶされた扁平形状であり、
 前記ルーピング部は、前記接合部から斜め上方向に折れ曲がって伸びるヒール部を有し、前記ヒール部の厚さは、前記共通のワイヤの直径の $1/2 \sim 4/5$ の厚さである半導体装置。
- [請求項6] 請求項3に記載の半導体装置であって、
 前記接合部は、前記共通のワイヤの直径の $1/4 \sim 1/2$ の厚さに押しつぶされた扁平形状であり、
 前記ルーピング部は、前記接合部から斜め上方向に折れ曲がって伸びるヒール部を有し、前記ヒール部の厚さは、前記共通のワイヤの直

径の $1/2 \sim 4/5$ の厚さである半導体装置。

- [請求項7] 請求項2に記載の半導体装置であって、
前記電極は、前記半導体チップの表面から凹んでおり、
前記接合部の厚さは、前記電極の凹み深さよりも厚い半導体装置。
- [請求項8] 請求項3に記載の半導体装置であって、
前記電極は、前記半導体チップの表面から凹んでおり、
前記接合部の厚さは、前記電極の凹み深さよりも厚い半導体装置。
- [請求項9] 請求項4に記載の半導体装置であって、
前記電極は、前記半導体チップの表面から凹んでおり、
前記接合部の厚さは、前記電極の凹み深さよりも厚い半導体装置。
- [請求項10] 3つ以上の半導体チップまたは基板の電極を共通のワイヤによって
順次接続する半導体装置の製造方法であって、
キャピラリによって前記ワイヤの側面を一の電極に押し付けて、前
記ワイヤの側面を前記一の電極に接合する接合工程と、前記接合工程
の後、キャピラリによって前記ワイヤを他の電極上までルーピングす
るルーピング工程と、を交互に繰り返して3つ以上の前記電極を共通
のワイヤによって順次接続する半導体装置の製造方法。
- [請求項11] 請求項10に記載の半導体装置の製造方法であって、
前記接合工程は、前記キャピラリによって前記共通のワイヤをその
直径の $1/4 \sim 1/2$ の厚さに押しつぶして扁平形状にすると共に超
音波加振を行って前記共通のワイヤを前記各電極に接合する半導体装
置の製造方法。
- [請求項12] 請求項10に記載の半導体装置の製造方法であって、
前記ルーピング工程は、
前記接合工程の後、前記一の電極から前記キャピラリを垂直に上昇
させる第一上昇工程と、
前記第一上昇工程の後、他の電極の方に向かって斜め下方向に前記キ
ャピラリを移動させる第一の斜め移動工程と、

前記第一の斜め移動工程の後、再度、前記キャピラリを垂直に上昇させる第二上昇工程と、

前記第二上昇工程の後、他の電極と反対側に向って斜め下方向に前記キャピラリを移動させるリバース工程と、

前記リバース工程の後、前記一の電極直上まで斜め上方向に前記キャピラリを移動させる第二の斜め移動工程と、

前記第二の斜め移動工程の後、再度、前記キャピラリを垂直に上昇させる第三上昇工程と、

前記第三上昇工程の後、前記他の電極の直上に向って弧状にキャピラリを移動させる弧状移動工程と、

を含む半導体装置の製造方法。

[請求項13]

請求項11に記載の半導体装置の製造方法であって、

前記ルーピング工程は、

前記接合工程の後、前記一の電極から前記キャピラリを垂直に上昇させる第一上昇工程と、

前記第一上昇工程の後、他の電極の方に向って斜め下方向に前記キャピラリを移動させる第一の斜め移動工程と、

前記第一の斜め移動工程の後、再度、前記キャピラリを垂直に上昇させる第二上昇工程と、

前記第二上昇工程の後、他の電極と反対側に向って斜め下方向に前記キャピラリを移動させるリバース工程と、

前記リバース工程の後、前記一の電極直上まで斜め上方向に前記キャピラリを移動させる第二の斜め移動工程と、

前記第二の斜め移動工程の後、再度、前記キャピラリを垂直に上昇させる第三上昇工程と、

前記第三上昇工程の後、前記他の電極の直上に向って弧状にキャピラリを移動させる弧状移動工程と、

を含む半導体装置の製造方法。

- [請求項14] 請求項12に記載の半導体装置の製造方法であって、
前記リバーブ工程は、前記接合部を通る前記電極に垂直な線に対する角度が $10^{\circ} \sim 20^{\circ}$ となる点までキャピラリを移動させる半導体装置の製造方法。
- [請求項15] 請求項13に記載の半導体装置の製造方法であって、
前記リバーブ工程は、前記接合部を通る前記電極に垂直な線に対する角度が $10^{\circ} \sim 20^{\circ}$ となる点までキャピラリを移動させる半導体装置の製造方法。
- [請求項16] 請求項10に記載の半導体装置の製造方法であって、
前記電極のうちの少なくとも1つは、半導体チップの表面から凹んだパッドであり、
前記接合工程は、
前記キャピラリによって前記共通のワイヤを前記パッドの凹み深さよりも厚い厚さに押しつぶして扁平形状にすると共に超音波加振を行って前記共通のワイヤを前記パッドに接合する半導体装置の製造方法。
。