

(19) 日本国特許庁(JP)

## (12) 特許公報(B2)

(11) 特許番号

特許第6971012号  
(P6971012)

(45) 発行日 令和3年11月24日 (2021.11.24)

(24) 登録日 令和3年11月4日 (2021.11.4)

(51) Int.Cl.

H01L 21/60 (2006.01)

F 1

H01L 21/60 301D

請求項の数 10 外国語出願 (全 13 頁)

(21) 出願番号 特願2016-214727 (P2016-214727)  
 (22) 出願日 平成28年11月2日 (2016.11.2)  
 (65) 公開番号 特開2017-92464 (P2017-92464A)  
 (43) 公開日 平成29年5月25日 (2017.5.25)  
 審査請求日 令和1年10月11日 (2019.10.11)  
 (31) 優先権主張番号 62/250,745  
 (32) 優先日 平成27年11月4日 (2015.11.4)  
 (33) 優先権主張国・地域又は機関  
米国 (US)  
 (31) 優先権主張番号 15/234,563  
 (32) 優先日 平成28年8月11日 (2016.8.11)  
 (33) 優先権主張国・地域又は機関  
米国 (US)

(73) 特許権者 506395943  
クリック アンド ソッファ インダスト  
リーズ、インク。  
アメリカ合衆国、19034 ペンシルバ  
ニア州、フォート ワシントン、バージニ  
ア ドライブ 1005  
(74) 代理人 100104411  
弁理士 矢口 太郎  
(72) 発明者 シャー、アシシュ  
アメリカ合衆国、19044 ペンシルバ  
ニア州、ホーシャム、2 チャーチル サ  
ークル

前置審査

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】ワイヤーボンディングのためのボンダー上の自動オーバーハングダイ最適化ツールと関連する方  
法

## (57) 【特許請求の範囲】

## 【請求項 1】

ワイヤーボンディング操作中に複数のボンディング位置に適用されるZ軸力プロファイルを提供する方法であって、

(a) 少なくとも1つの基準半導体装置の支持されていない部分における複数のボンディング位置の各ボンディング位置についてZ軸力プロファイルを決定する工程であって、前記支持されていない部分は、この支持されていない部分の下の位置から前記少なくとも1つの基準半導体装置の別の部分によって支持されない部分であり、この工程(a)は、前記複数のボンディング位置のそれぞれでZ軸振動を測定することで前記複数のボンディング位置のそれぞれの前記Z軸力プロファイルを決定することを含むものである、工程と、

(b) 対象とされる半導体装置の後続ボディング中に前記Z軸力プロファイルを適用する工程と

を有する方法。

## 【請求項 2】

請求項1記載の方法において、工程(a)は、さらに、前記複数のボンディング位置の各ボンディング位置において複数のZ軸力値で前記Z軸振動を測定し、前記複数のボンディング位置の各ボンディング位置について前記Z軸力プロファイルを決定する工程を含むものである方法。

## 【請求項 3】

10

20

請求項 1 記載の方法において、前記 Z 軸振動は、ワイヤーボンディング装置のボンドヘッドアセンブリの Z 軸エンコーダを使って測定されるものである方法。

【請求項 4】

請求項 1 記載の方法において、前記 Z 軸振動は反復工程に関連付けて測定されるものであり、それにより、工程 (a) で前記複数のボンディング位置の各ボンディング位置について決定された Z 軸力プロファイルは、当該各ボンディング位置に許容範囲内の Z 軸たわみプロファイルを提供するものである方法。

【請求項 5】

請求項 4 記載の方法において、前記 Z 軸たわみプロファイルに含まれる最大たわみ値は、所定の閾値未満である方法。

10

【請求項 6】

請求項 4 記載の方法において、工程 (a) で決定される前記 Z 軸力プロファイルは、ワイヤーボンドが形成された後のボンディングツール離昇を含む、ワイヤーボンディングサイクルの一部に対応するプロファイルを含むものである方法。

【請求項 7】

請求項 1 記載の方法において、工程 (a) で決定される前記 Z 軸力プロファイルは、前記半導体装置のボンディング位置に対するイニシャルボール (f r e e a i r b a l l) の初期衝撃を含む、ワイヤーボンディングサイクルの一部に対応するプロファイルを含むものである方法。

【請求項 8】

20

接合時の最大ボール直径を決定する方法であって、

(a) ワイヤーボンドが形成されるボンディング位置について最大接合力を決定する工程と、

(b) 前記ボンディング位置においてワイヤーボンドを形成するための Z 軸定速プロファイルを決定する工程と、

(c) コンピュータ上で、工程 (a) で決定された前記最大接合力および工程 (b) で決定された前記 Z 軸定速プロファイルを使って、前記ボンディング位置における接合時の最大ボールサイズを決定する工程と

を有する方法。

【請求項 9】

30

請求項 8 記載の方法において、前記コンピュータは、ワイヤーボンディング装置のコンピュータである方法。

【請求項 10】

請求項 8 記載の方法において、工程 (c) は、接合時の最大ボールサイズに関する値と、前記最大接合力および前記 Z 軸定速プロファイルとを含む少なくとも 1 つのデータ構造を使用して前記接合時の最大ボールサイズを決定する工程を含むものである方法。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本願は、2016年8月11日付で出願された米国特許出願第 15/234,563 号および 2015 年 11 月 4 日付で出願された米国仮特許出願第 62/250,745 号に基づく利益を主張するものであり、この参照によりその内容が本明細書に組み込まれる。

40

【0002】

本発明は、ワイヤーボンディング操作に関し、より具体的にはオーバーハングダイ (張り出したダイ) の適用に伴って使用されるワイヤーボンディング・プログラム・パラメータを決定する改善された方法に関する。

【背景技術】

【0003】

半導体パッケージング産業において、ワイヤーボンディングは、現在もパッケージ内の 2 つ (若しくはそれ以上) の位置間に電気的相互接続をもたらす主な方法であり続けてい

50

る。通常のワイヤーボンディング用途では、ワイヤーボンディングツール（例えば、ボールボンディング用途におけるキャピラリーボンディングツール、ウェッジボンディング用途におけるウェッジボンディングツールなど）を使って、ワイヤーの第1の端部を第1のボンディング位置に接合することにより第1のボンドを形成する。次に、前記第1のボンドに継続するワイヤー長が第2のボンディング位置へ向かって延長される。次に、第2のボンディング位置で（前記第1のボンドおよび前記ワイヤー長に継続する）第2のボンドを形成する。これにより、前記第1のボンディング位置と前記第2のボンディング位置間でワイヤーループが形成される。ワイヤーボンドの形成中、接合力および／または熱とともに各種タイプのエネルギー（例えば、超音波、サーモソニック（超音波熱圧着）、熱圧縮など）を使用することができる。

10

#### 【0004】

特定のタイプの半導体パッケージでは、種々の半導体ダイが「積み重ねられたダイ」の構成で配置される。そのようなパッケージでは、それらのダイのうち1若しくはそれ以上が他のダイ（またはスペーサー、基板など）から張り出す場合がある。図1は、そのようなパッケージを例示したものである。図1において、下側の半導体ダイ102は、基板100により支持されている（ここで、ワイヤーループ108が、ダイ102上のボンディング位置と、基板100上の別のボンディング位置との相互接続をもたらしている）。スペーサー104は、下側の半導体ダイ102と上側の半導体ダイ106間に配置される。上側の半導体ダイ106は、スペーサー104および下側の半導体ダイ102から張り出し、当該スペーサー104および半導体ダイ102に支持されていない部分を含む。そのため、上側の半導体ダイ106は「オーバーハングダイ」（張り出したダイ）と呼ばれることがある。

20

この出願の発明に関連する先行技術文献情報としては、以下のものがある。

#### （先行技術文献）

##### （特許文献）

（特許文献1）米国特許第7,762,449号明細書

（特許文献2）米国特許第7,699,209号明細書

（特許文献3）米国特許第5,566,876号明細書

（特許文献4）米国特許第8,302,840号明細書

（特許文献5）米国特許出願公開第2012/0074206号明細書

30

（特許文献6）中国特許出願公開第101740427号明細書

（特許文献7）特開平07-183321号公報

（特許文献8）特開2007-180349号公報

##### （非特許文献）

（非特許文献1）Search Report issued by China National Intellectual Property Administration in connection with related Chinese Patent Application No. 201610959217.4.

#### 【発明の概要】

#### 【発明が解決しようとする課題】

40

#### 【0005】

図1では、上側の半導体ダイ106と別の位置（例えば、基板100）との間に別のワイヤーループを形成することが望ましい。図1は、ボンディング工程の開始時を例示したもので、ワイヤーボンディングツール110を使って（この場合、ワイヤーボンディングツール110はボンドヘッドアセンブリ114に担持されている）、（第1のボンドとしての）ボールボンド112を上側の半導体ダイ106上のボンディング位置にボンディングしているところである。上側の半導体ダイ106は、オーバーハングダイであるため曲がっている（すなわちダイは図1に示すようにたわむ）。このダイのたわみにより、オーバーハングダイ自体が損傷する（例えば、亀裂が生じるなど）または当該オーバーハングダイの下にある他の構造（例えば、ワイヤーループ108）に接触して当該構造を損傷す

50

る結果を招くおそれがある。

【0006】

そのため、オーバーハングダイを伴うワイヤーボンディングに関連した潜在的な損傷を制御する改善された方法を提供することが望ましい。

【課題を解決するための手段】

【0007】

本発明の例示的な一実施形態によれば、ワイヤーボンディング操作中に複数のボンディング位置に適用されるZ軸力プロファイルを提供する方法が提供される。この方法は、(a)少なくとも1つの基準半導体装置の支持されていない部分における前記複数のボンディング位置の各ボンディング位置についてZ軸力プロファイルを決定する工程と、(b)対象とされる半導体装置の後続ボンディング中に前記Z軸力プロファイルを適用する工程とを含む。

10

【0008】

本発明の別の例示的な一実施形態によれば、ワイヤーボンドの形成中にボンディング位置に適用する最大接合力を決定する方法が提供される。この方法は、(a)少なくとも1つの基準半導体装置について最大Z軸たわみ値を提供する工程と、(b)少なくとも1つの基準半導体装置の複数のボンディング位置において、複数の接合力値でZ軸たわみ値を測定する工程と、(c)各前記ボンディング位置について最大接合力を決定する工程とを含む。

【0009】

20

本発明のさらに別の例示的な一実施形態によれば、ワイヤーボンド形成のためのZ軸定速プロファイルを決定する方法が提供される。この方法は、(a)半導体装置について最大Z軸たわみ値を提供する工程と、(b)少なくとも1つの基準半導体装置の複数のボンディング位置において、複数のZ軸定速プロファイルでZ軸たわみ値を測定する工程と、(c)各前記ボンディング位置についてZ軸定速プロファイルを決定する工程とを含む。

【0010】

本発明のさらに別の例示的な一実施形態によれば、接合時の最大ボール直径を決定する方法が提供される。この方法は、(a)ワイヤーボンドが形成されるボンディング位置について最大接合力を決定する工程と、(b)前記ボンディング位置においてワイヤーボンドと形成するためのZ軸定速プロファイルを決定する工程と、(c)コンピュータ上で、工程(a)で決定された前記最大接合力および工程(b)で決定された前記Z軸定速プロファイルを使って、前記ボンディング位置における接合時の最大ボールサイズを決定する工程とを含む。

30

【図面の簡単な説明】

【0011】

本発明は、添付の図面と併せて以下の詳細な説明を読むことにより最もよく理解される。一般的な慣行に従い、これら図面の種々の特徴は縮尺どおりでないことに留意されたい。むしろ種々の特徴の寸法は、明瞭性のため適宜拡大または縮小されている。図面に含まれる図は以下のとおりである。

【図1】図1は、オーバーハングダイを含む従来の積み重ねられたダイ装置の一部のプロック側面図である。

40

【図2】図2は、ワイヤーループの第1のボンド形成中における、ワイヤーボンディング装置のボンドヘッドアセンブリの一部のZ軸位置プロファイルを例示したタイミングチャートであり、本発明の種々の例示的実施形態を例示する上で有用である。

【図3】図3は、本発明の例示的な一実施形態に基づき、ワイヤーループの第1のボンド形成中における、ワイヤーボンディング装置のボンドヘッドアセンブリの一部のZ軸位置プロファイルを例示したタイミングチャートである。

【図4】図4は、ワイヤーボンドの形成中にワイヤーボンディング装置のボンディングツールからかかる力を例示した力プロファイルであり、本発明の種々の例示的実施形態を例示する上で有用である。

50

【図 5 A】図 5 A は、3 つのボンディング位置を含むオーバーハングダイを上から見た簡略ブロック図であり、本発明の種々の例示的実施形態を例示する上で有用である。

【図 5 B】図 5 B は、本発明の例示的な一実施形態に基づき、図 5 A のオーバーハングダイの種々の位置におけるワイヤーボンド形成中の、ワイヤーボンディング装置のボンドヘッドアセンブリの一部の Z 軸位置プロファイルを例示したタイミングチャートである。

【図 5 C】図 5 C は、本発明の例示的な一実施形態に基づき、図 5 A のオーバーハングダイの種々の位置におけるワイヤーボンド形成中の、ワイヤーボンディング装置のワイヤーボンディングツールからかかる接合力を例示した接合力プロファイルである。

【図 6】図 6 は、本発明の例示的な一実施形態に基づき、ワイヤーボンディング操作中、複数のボンディング位置に適用される Z 軸力プロファイルを提供する方法を例示したフローチャートである。 10

【図 7】図 7 は、本発明の例示的な一実施形態に基づき、ワイヤーボンドの形成中、ボンディング位置に加えられる最大接合力を決定する方法を例示したフローチャートである。

【図 8】図 8 は、本発明の例示的な一実施形態に基づき、ワイヤーボンド形成のための Z 軸定速プロファイルを決定する方法を例示したフローチャートである。

【図 9】図 9 は、本発明の例示的な一実施形態に基づき、最大接合済みボール直径を決定する方法を例示したフローチャートである。

#### 【発明を実施するための形態】

##### 【0012】

本明細書における用語「Z 軸力プロファイル」とは、ワイヤーボンディング操作（またはワイヤーボンディング操作の一部）中の一定時間中に Z 軸に沿ってかかる力をいう。そのようなプロファイルは、これに限定されるものではないが、例えば、グラフ形式（例えば、図 4 を参照）、表形式（例えば、時間増分ごとの一連の力値）などを含むいくつかの形式で提供可能である。そのような力プロファイルは、ボンディングサイクル全体（例えば、図 4 のグラフ）について得られ、またはボンディングサイクルの一部（例えば、力低減中、離昇に至る間、図 3 の点線部分に対応する部分）について得られる。 20

##### 【0013】

本発明の特定の例示的実施形態によれば、ワイヤーボンディングパラメータ、例えば最適な減衰ゲイン（例えば、ワイヤーボンディングツールが予測可能な態様でダイから離れる際に関連した、ボンディング後の力低減中の力プロファイル）、最大ダイ整定時間、（例えば、定速モードにおける）最大安全接觸速度、および最大安全接合力を自動的に決定（例えば、計算）するシステムおよび方法が、ワイヤーボンダー（すなわち、ワイヤーボンディング装置）上の張り出し（張り出した）半導体装置用に提供される。このようなパラメータは、張り出した半導体装置（例えば、張り出した半導体ダイ）上の特定の各ボンディング位置について提供できる。 30

##### 【0014】

（ワイヤーボンディング装置のボンドヘッドアセンブリに担持された）ワイヤーボンディングツールがオーバーハングダイ（または別の張り出した半導体装置）の支持されていない部分上のボンドパッド（または他のボンディング位置）に接触すると、ダイの表面は下方へたわむ。このたわみに（例えばボンディング後にワイヤーボンディングツールがダイ表面から離昇するときのダイの振動）により、ワイヤーボンディングおよびループ形成にいくつかの問題が生じる可能性がある。したがって、オーバーハングダイにおいては、ワイヤーボンディング工程を特徴付け、最適化することは、極めて困難で長時間を要する。本発明の特定の態様は、ワイヤーボンダー上のオーバーハングダイの in situ における特徴付けおよび最適化を自動的に実行することに関する。例えば、Z 軸エンコーダのフィードバックおよび反復法を使うと、張り出した装置の重要な特徴、例えば最適な減衰ゲイン、最大ダイ整定時間、最大安全接觸速度、および最大安全接合力が、オーバーハングダイ上のプログラムされた全位置について定量化できる。 40

##### 【0015】

本発明の特定の例示的実施形態によれば、オーバーハングダイ上のプログラムされたボ

10

20

30

40

50

ンディング位置がボンディングプログラムに教示される。ボンディングツール（例えば、キャピラリー）は、特定のパラメータ、例えば減衰ゲイン、（例えば、定速モードにおける）接触速度、および接合力を用いて事前定義された開始値で、プログラムされた各ボンディング位置を（例えば、当該ボンディングツールにワイヤーを係合させ若しくは係合させずに）繰り返し押し下げる。収集および分析されるデータを提供するにはZ軸エンコーダのデータが使用される。そのデータは、利用者が定義した値（例えば、許容されるダイのたわみ、望ましい接合力など）と比較され、最大ダイたわみおよび最大安全接合力が決定される。それ以降の反復では、最大安全接触速度（すなわち、定速モードにおける）、最適な減衰ゲイン、および最大ダイ整定時間が決定可能である。このような工程は、プログラムされた（例えば、基準半導体装置上の）全位置について、プログラムされた位置ごとに典型的には6～10回の反復で、望ましいダイたわみへの収束が達成されるまで自動的に反復される。当該結果が表示され、（例えば、ダイのプログラムされたボンディング位置ごとに）ボンディングプログラムに保存されて、その後、ライブでのワイヤーボンディング中（例えば、対象とされる半導体装置上で）、自動的に使用できるようになる。10

#### 【0016】

これら進歩性のある技術を使用することにより、ワイヤーボンダーおよび利用者は、張り出した装置の特徴付けに関するフィードバック（例えば、瞬時またはリアルタイムのフィードバック）が得られる。このように、最適化された重要なボンディングパラメータ、例えば減衰ゲイン、最大ダイ整定時間、接触速度、および接合力が、オーバーハングダイ上のボンディング位置ごとに自動的に決定できる。20

#### 【0017】

各ボンディング位置の最適な減衰ゲインを決定するにあたり、前記工程により、ワイヤーボンディング工程中に処理されるUPH (units per hour: 1時間当たりの生産数) が損なわれないように、潜在的な振動を軽減しながら最低限のダイ整定時間を保つ力プロファイル（例えば、ボンディング後の力低減中における、時間に対する接合力のプロファイル、ボンディング前の初期接触中における、時間に対する接合力のプロファイル）が生成されるべきである。

#### 【0018】

(1) ボンディング中の最大接合力、および／または(2)ワイヤーボンドの形成におけるZ軸の定速プロファイルを決定するにあたり、（例えば、入力された最大たわみにより、例えばオーバーハングダイが、その下のワイヤーループを叩打する問題が生じない場合、最大たわみがダイの損傷、例えばダイの亀裂をもたらさない場合、）ワイヤーボンディング装置の利用者は、オーバーハングダイの最大たわみを入力することができる。別の例では、ワイヤーボンディング装置がオーバーハングダイの最大たわみを自動的に決定できる（例えば、当該ワイヤーボンディング装置により決定されるダイ亀裂などのダイ損傷を生じない最大たわみ値）。反復工程中、（例えば、当該ワイヤーボンディング装置のボンドヘッドのZ軸エンコーダを使って）前記ワイヤーボンダーはZ軸位置を測定し、加えられた接合力および定速（constant velocity: CV）プロファイルに関するZ軸位置データを提供する。このデータを使用して、最大接合力および最大CVプロファイルが決定される。30

#### 【0019】

図2は、ワイヤーボンド（例えば、ワイヤーループの第1のボンド、例えばイニシャルボール（free air ball）で形成されるボールボンド）の形成中における、ワイヤーボンディング装置の（ワイヤーボンディングツールを担持する）ボンドヘッドアセンブリのZ軸位置を例示したものである。当業者であれば理解するように、ワイヤーボンディング装置のZ軸は垂直軸（または実質的に垂直な軸）であり、これに沿ってワイヤーボンディングツールが移動する。そのZ軸位置は、ワイヤーボンディング装置のZ軸エンコーダを使って、または別の技術で検出することができる。図2に示すように、ワイヤーボンディングツールは、Z軸に沿って定速モードで下降する（図2の「定速」）。この下降中、ダイとの接触が生じる（図2の「ダイとの接触」）。オーバーハングダイの性質40

上、前記下降はダイとの接触後も続く。次いでダイとの接触が確定され（図2の「ダイとの接触の確定（CONTACT WITH DIE DECLARED）」）、「ボンディング」工程が開始する。当該ボンディング工程の完了後、ワイヤーボンディングツールは「ボンディング終了」後に上方移動されるとともに、接合力の力が低レベルの力まで低減される（例えば、図2の「Z軸離昇」として示す）。例えば、ボンディング中には20グラムの接合力がかかるが、低減された力は2グラムであるかもしれない。時間の点では、できるだけ早急に力低減を実現することが望ましいが、オーバーハングダイの性質上、図2に示すようにダイの振動が生じる。一定時間後、ダイは整定し（振動は停止、図2の「ダイの整定」を参照）、ダイは平衡位置に落ち着く。問題は、前記ダイの振動により、オーバーハングダイの損傷（例えば、亀裂）、オーバーハングダイにボンディングされたワイヤーループの損傷、オーバーハングダイ下のワイヤーループの損傷が生じうることである。

#### 【0020】

図3は図2と実質的に同様であるが、図3は、第2の曲線（点線の曲線）が示されており、ダイの振動が実質的に軽減されるように前記力低減が調整されている（例えば、望ましいZ軸力プロファイルがかけられている）点で異なる。すなわち、接合力をすばやく排除する（例えば、上記の例では20グラムから2グラムに）代わりに、Z軸力プロファイルが特にボンディング位置に適用される。例えば、図3では実線曲線と比べて曲線の点線部分で示すように、（「ボンディング終了」後の）力低減段階中に接合力のより緩やかな低減が適用されうる。この力プロファイルは、過度に時間がかかる、UPH (unit 20 s per hour: 1時間当たりの生産数) が減少しないよう、バランスを取るべきである。

#### 【0021】

図4は、オーバーハングダイのボンディング（ワイヤーループの第1のボンドとしての、またはバンプとしての、イニシャルボールのボンディング）中の接合力プロファイルの一例を示したものである。この接合力プロファイル、またはこの接合力プロファイルの任意部分を、Z軸力プロファイルと呼ぶことができる。このような接合力プロファイルにより、（図2～3に示した例のような）Z軸位置プロファイルが生じる。図4の接合力プロファイルは、ゼロ値の接合力（接触なし、図4の「ゼロ接合力」として示す）から始まり、接触時に増加して、CV（定速）モードでピーク衝撃力に達する。イニシャルボールの変形後、力は、図4の「ボンディング時間」中の実質的に均一な接合力としての「接合力」へと若干低減される。次に「離昇時間」が生じ、その間、力は「接合力」から「離昇力」まで低減される。オーバーハングダイが整定するように、力はこの低い力レベルに保たれる。次に、力はゼロ接合力レベルまで低減される。本発明の特定の例示的実施形態によれば、Z軸力プロファイルは、図4に示す「離昇時間」中（および/または図4に示す「CVモード中のピーク衝撃力」段階における初期接触中、および/またはワイヤーボンディング操作の他の部分において）、ボンディング位置ごとに生成されることにより、例えば、図3において点線で示した振動を軽減する。

#### 【0022】

本発明の特定の例示的実施形態によれば、各ボンディング位置を個別に考慮でき、その一意のボンディング位置についてZ軸力プロファイルが生成される（例えば、ボンディング後の力低減プロファイル、または初期衝撃中の力プロファイルを含む）。図5Aは、単純なオーバーハングダイを例示したもので、このオーバーハングダイは、それ自体よりフィットプリントの小さい底部のダイまたはスペーサー上に配置されている。このオーバーハングダイは、3つのボンディング位置を含む（すなわち、「a」、「b」、および「c」）。図5Aに示すように、位置「a」および「c」は、距離 $1.4 \times$ だけ前記底部ダイから離れており、位置「b」は、それより短い距離 $\times$ だけ前記底部ダイから離れている。そのため、このオーバーハングダイは、傾向として均一な加力下で位置「b」でより剛性が高く、位置「a」および「c」ではより大きくなれる。実際のボンディング中には、多くの場合、すべてのボンディング位置に対して一貫したレベルの接合力およびCVを適用す 40 50

ることが望ましい。そのため、図 5 B の Z 軸位置プロファイル（図 3 の Z 軸位置プロファイルと同様）に示すように、「ボンディング」中の Z 軸位置は位置「a」および「c」ではより低いが、これは位置「b」と比べ、位置「a」および「c」でも同じ接合力がかかっているためである。ボンディング位置「a」および「c」の Z 軸位置プロファイルは、図 5 B において点線で示されている（許容されないレベルのダイの振動は、図 5 B では単純化のため示していない）。しかし、位置「a」および「c」の Z 軸位置がこのように低いと、許容されないレベルのダイたわみが生じるおそれがある。そのため、ボンディング位置「a」および「c」については接合力の低減（ボンディング後の離昇に伴う力）を変更できる。図 5 C は、位置「b」および位置「a」および「c」について、接合力プロファイルを例示したものである（図 4 に示した Z 軸力プロファイルと同様）。図 5 C に示すように、位置「a」および「c」における力低減は、位置「b」と比べて著しく緩やかである。この力低減は、各ボンディング位置に固有であり、潜在的な振動の軽減を可能にする。

#### 【 0 0 2 3 】

また、図 5 A ~ 5 C は、本発明の例示的な実施形態に係る（1）ボンディング中の最大接合力、および／または（2）ワイヤーボンドの形成に関する Z 軸の定速プロファイルの自動決定も説明している。すなわち、異なるボンディング位置「a」、「b」、および「c」はたわみ方が異なるため、許容される最大接合力が位置ごとに異なる。利用者が提供する最大たわみ値を使った反復アプローチを使用して、異なる接合力レベルで各ボンディング位置でのたわみが測定される。次いで、すべてのボンディング位置に使用できる許容範囲内の最大接合力が決定される。すべてのボンディング位置に使用できる許容範囲内の Z 軸定速プロファイルを決定するにも、利用者が提供する最大たわみ値を超えずに同じアプローチを取ることができる。

#### 【 0 0 2 4 】

図 6 ~ 9 は、本発明の特定の例示的実施形態に係るフローチャートである。当業者であれば理解されるように、これらのフローチャートでは、これに含まれる特定の工程を省略してもよく、特定の追加工程を加えてもよく、またこれら工程の順序を、例示した順序から変更してもよい。

#### 【 0 0 2 5 】

図 6 は、ワイヤーボンディング操作中、複数のボンディング位置に適用される Z 軸力プロファイル（例えば、図 4 または図 5 C に示した力プロファイル）を提供する方法を例示したフローチャートである。工程 6 0 0 では、少なくとも 1 つの基準半導体装置の支持されていない部分における前記複数のボンディング位置の各々において、Z 軸振動が測定される。例えば、Z 軸振動の測定は（例えば、ワイヤーボンディング装置のボンドヘッドの Z 軸エンコーダを使って）、前記複数のボンディング位置の各ボンディング位置において、複数の Z 軸力値で、前記複数のボンディング位置の各ボンディング位置の Z 軸力プロファイルの決定に関連付けて行うことができる。特定の一例において、Z 軸振動の測定は、各ボンディング位置に望ましい Z 軸たわみプロファイルをもたらす Z 軸力プロファイルがボンディング位置ごとに決定されるように（例えば、前記 Z 軸たわみプロファイルに含まれる最大たわみ値が所定の閾値未満になるように）、反復工程に関連付けて行うことができる。工程 6 0 2 では、前記複数のボンディング位置の各ボンディング位置について、工程 6 0 0 で得られた Z 軸振動測定値を使って Z 軸力プロファイルが決定される（例えば、許容される Z 軸たわみプロファイルをもたらす Z 軸力プロファイルを、前記反復工程を使って決定する。この場合、前記 Z 軸たわみプロファイルの最大たわみ値は所定の閾値未満になる）。工程 6 0 4 では、工程 6 0 2 で決定された Z 軸力プロファイルが、対象とされる半導体装置の後続ボンディング中に適用される。すなわち、工程 6 0 0 および 6 0 2 は基準半導体装置に関連付けて実施可能であり、ボンディングツールにワイヤーを係合させ若しくは係合させずに実施できる。工程 6 0 4 では、実際のワイヤーボンディングが、対象とされる半導体装置（例えば、製造中の装置）に関連付けられ、工程 6 0 2 で決定された Z 軸力プロファイルを使って行われる。

10

20

30

40

50

## 【0026】

図7は、ワイヤーボンドの形成中、ボンディング位置に加えられる最大接合力を決定する方法を例示したフローチャートである。工程700では、最大Z軸たわみ値が、少なくとも1つの基準半導体装置に提供される。このような最大Z軸たわみ値は、いくつかの方法で提供できる。特定の例では、例えば、ワイヤーボンディング装置の利用者によりオーバーハングダイの最大たわみが提供される。利用者は、最大たわみにより、(i)オーバーハングダイが、その下のワイヤーループを叩打する、および/または(ii)ダイの損傷、例えばダイの亀裂などの問題が生じないよう、テストおよび実験により最大たわみが特定される。別の例では、ワイヤーボンディング装置がオーバーハングダイの最大たわみが自動的に決定される(例えばZ軸エンコーダを使って種々のレベルのダイたわみをテストする工程を通じて、例えば当該ワイヤーボンディング装置により決定されるダイ亀裂などのダイ損傷を生じない最大たわみ値を、また、ダイは何らかの量たわむと適切に回復しないため、ダイ亀裂は当該ワイヤーボンディング装置により識別できる)。工程702では、少なくとも1つの基準半導体装置の複数のボンディング位置において、複数の接合力値でZ軸たわみ値が測定される。例えば、そのようなたわみ値は、ワイヤーボンディング装置のZ軸エンコーダを使って測定できる。工程702は、ボンディングツールにワイヤーを係合させ若しくは係合させずに実施できる。工程704では、前記ボンディング位置の各ボンディング位置について最大接合力が決定される。すなわち、工程700からの最大たわみ値、および工程702において複数の接合力値で測定されたZ軸たわみ値を使って、許容される最大接合力値が決定される。工程704は、各前記ボンディング位置に適用できる単一の値としての最大接合力を決定する工程を含む、若しくは、複数の値としての最大接合力を決定する工程を含むことができ、ここで、各ボンディング位置は、前記複数の値に含まれた、各ボンディング位置に対応する最大接合力を有する。

10

## 【0027】

図8は、ワイヤーボンドの形成に関するZ軸定速プロファイル(例えば、所定の時間中のZ軸に関する傾き)を決定する方法を例示したフローチャートである。工程800では、半導体装置用の最大Z軸たわみ値が提供される。このような最大Z軸たわみ値は、図7の工程700に関連して上述したように提供できる。工程802では、少なくとも1つの基準半導体装置の複数のボンディング位置において、複数のZ軸定速プロファイルでZ軸たわみ値が測定される。図7の工程702に関して上述したように、そのようなたわみ値は、ワイヤーボンディング装置のZ軸エンコーダを使って測定できる。工程804では、前記ボンディング位置の各ボンディング位置についてZ軸定速プロファイルが決定される。すなわち、工程800からの最大たわみ値、および工程802において複数のZ軸定速プロファイルで測定されたZ軸たわみ値を使って、許容されるZ軸定速プロファイルが工程804で決定される。工程704は、各前記ボンディング位置に適用できるZ軸定速プロファイルを単一のプロファイルとして決定する工程を含む、若しくはZ軸定速プロファイルを複数のプロファイルとして決定する工程を含むことができ、ここで、各ボンディング位置は、前記複数のプロファイルに含まれた、各ボンディング位置に対応するZ軸定速プロファイルを有する。

20

## 【0028】

30

図9は、接合時の最大ボール直径を決定する方法を例示したフローチャートである。特定のワイヤーボンディング用途では、イニシャルボールがボンディング位置に接合されて接合されたボールを形成する。この接合されたボールの直径は、ワイヤーボンドの重要な特徴であり、ワイヤーボンド形成用のボンディングパラメータを導出する際の入力値として使用できる(例えば、米国特許出願公開第2012/0074206号を参照)。そのため、オーバーハングダイの応用を含む所与の応用で可能な接合時の最大ボール直径を知ることは重要である。工程900では、ワイヤーボンドが形成されるボンディング位置に適用される最大接合力が決定される。例えば、この最大接合力は、図7で開示した方法を使って決定できる。工程902では、前記ボンディング位置において、ワイヤーボンドを形成するためのZ軸定速プロファイルが決定される。例えば、このZ軸定速プロファイル

40

50

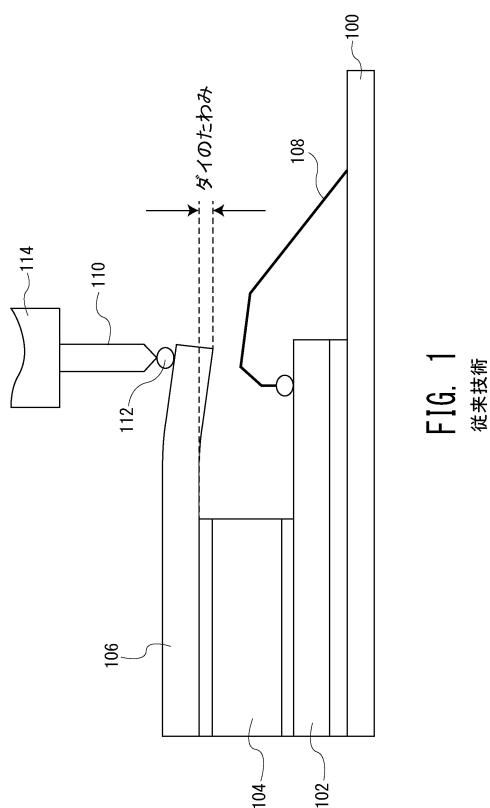
は、図8で示した方法を使って決定できる。工程904では、コンピュータで、工程900で決定された最大接合力および工程902のZ軸定速プロファイルを使って、前記ボンディング位置における接合時の最大ボールサイズが決定される。前記コンピュータは、例えばワイヤーボンディング装置のコンピュータでも、別個のコンピュータシステムでもよい。工程904は、前記コンピュータによりアクセス可能な少なくとも1つのデータ構造（例えば、ルックアップテーブル、データベースなど）を使用する工程を含むことができ、その場合、前記データ構造は、最大接合済みボールサイズに関する値、ならびに前記最大接合力および前記Z軸定速プロファイルを含む。このようなデータ構造を前記コンピュータで使用すると、接合時の最大ボールサイズを決定することができる。

【 0 0 2 9 】

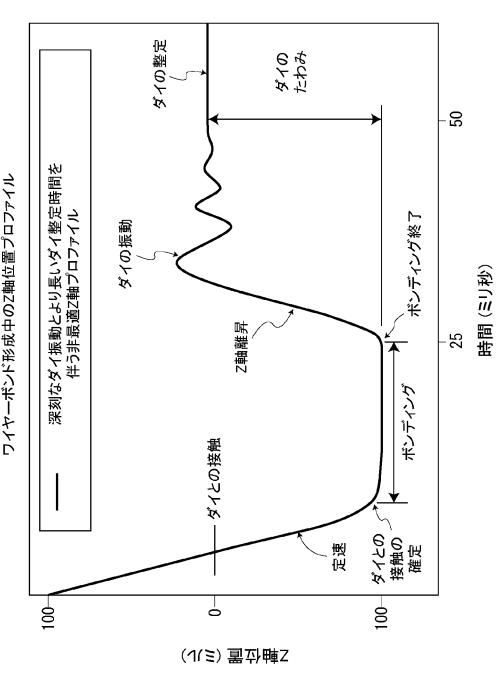
10

本発明については、本明細書において具体的な実施形態を参照して例示および説明しているが、示した詳細事項に限定されるものではない。むしろ、請求項の均等物の範囲内で、かつ、本発明の範囲を逸脱しない範囲内で、細部において種々の変更形態が可能である。

【 四 1 】



【図2】



【図3】

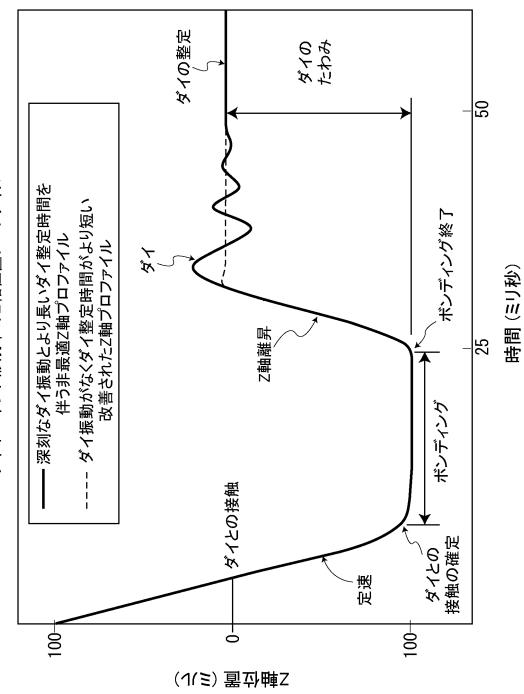


FIG. 3

【 図 4 】

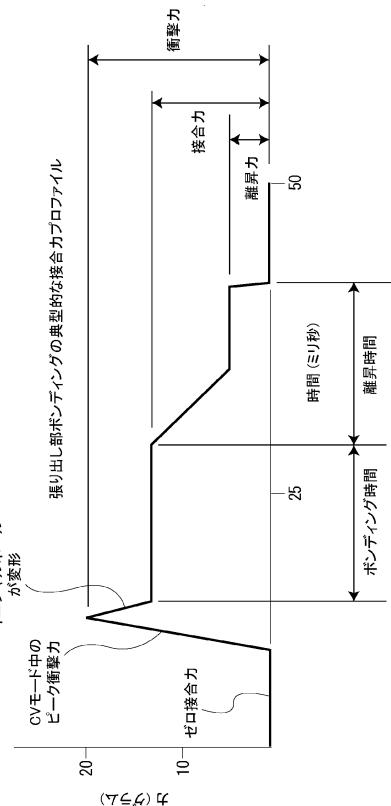


FIG. 4

【図5A】

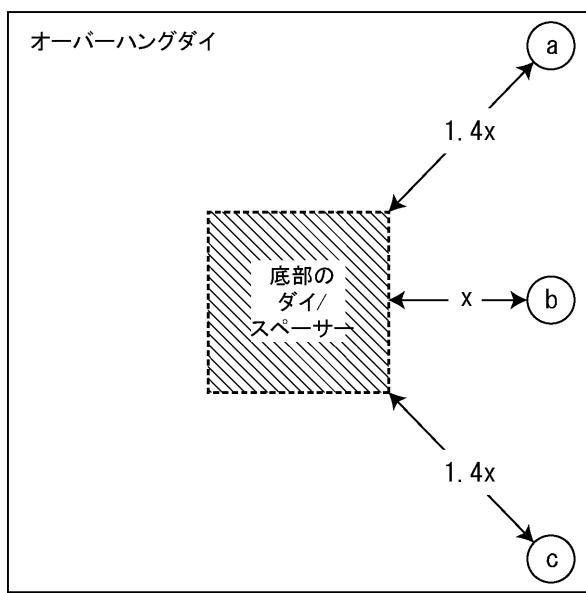


FIG. 5A

### 【図5B】

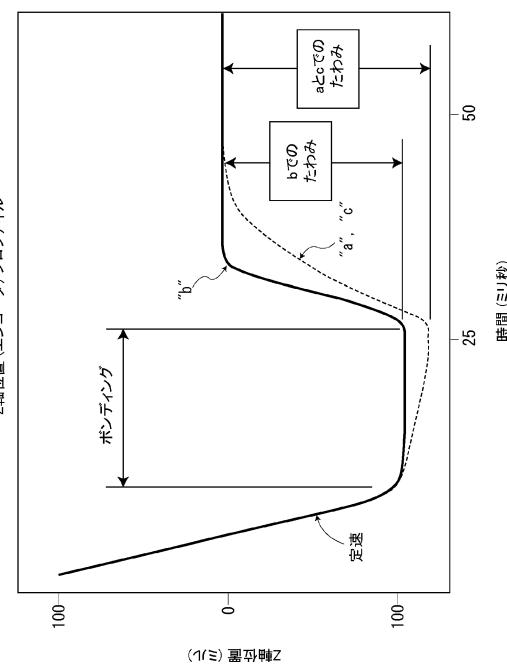


FIG. 5B

【図5C】

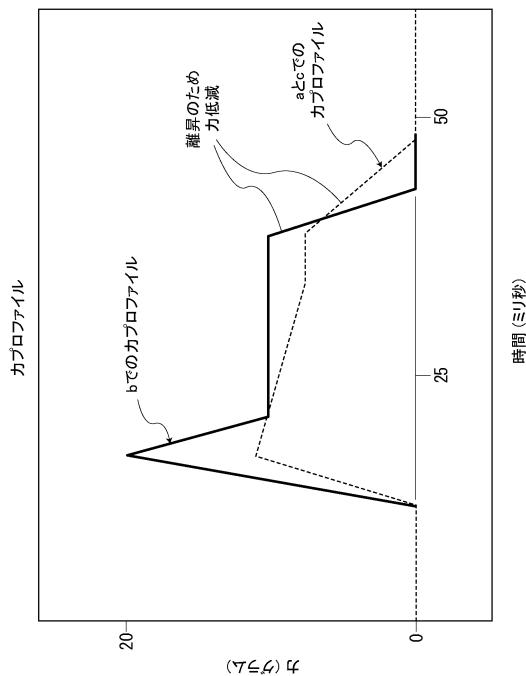


FIG. 5C

【図6】

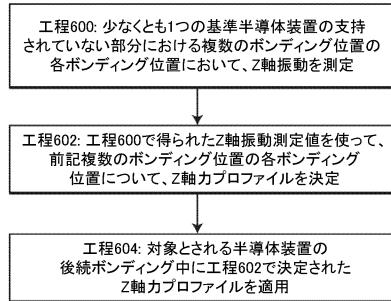


FIG. 6

【図7】

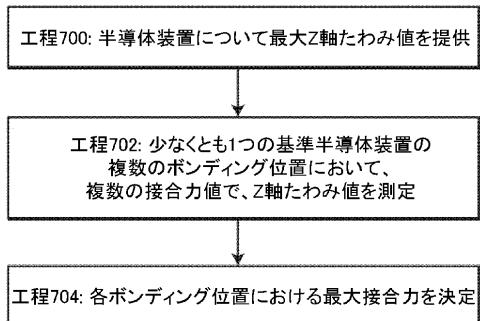


FIG. 7

【図8】

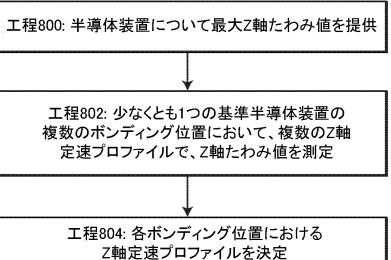


FIG. 8

【図9】

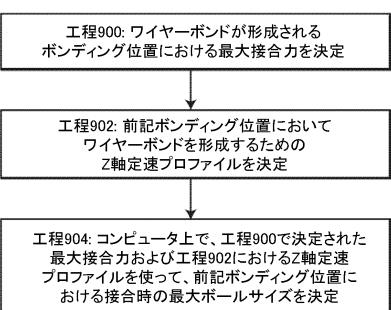


FIG. 9

---

フロントページの続き

(72)発明者 エレンバーグ、ロバート、ウィリアム  
アメリカ合衆国、19123 ペンシルバニア州、フィラデルフィア、209 ウエスト ウィル  
ディ ストリート

(72)発明者 バビネット、スティーブン  
アメリカ合衆国、19446 ペンシルバニア州、ランズデール、159 アディソン レーン

(72)発明者 アハマッド、ジアウディン  
アメリカ合衆国、19085 ペンシルバニア州、ヴィラノーヴァ、700 ウッドフィールド  
ロード

(72)発明者 チン、ウェイ  
アメリカ合衆国、19446 ペンシルバニア州、ランズデール、4 アンドリュー レーン

審査官 小池 英敏

(56)参考文献 特開2015-153907 (JP, A)  
特開2012-074699 (JP, A)  
特開2012-186416 (JP, A)  
特開2001-267352 (JP, A)  
特開2010-067780 (JP, A)

(58)調査した分野(Int.Cl. , DB名)

H01L 21/60