

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 公開特許公報(A)

(11) 特許出願公開番号

特開2004-282015

(P2004-282015A)

(43) 公開日 平成16年10月7日(2004.10.7)

(51) Int.Cl.⁷

H 0 1 L 21/60

F I

H 0 1 L 21/92 G 0 4 K

テーマコード (参考)

審査請求 未請求 請求項の数 65 O L 外国語出願 (全 62 頁)

(21) 出願番号	特願2003-365282 (P2003-365282)	(71) 出願人	503391108
(22) 出願日	平成15年9月19日 (2003. 9. 19)		クリック アンド ソファアー インヴェス トメンツ インコーポレイテッド
(31) 優先権主張番号	10/247242		アメリカ合衆国 ペンシルバニア州 1 9 0 9 0 ウィロウ グローヴ プレア ミ ル ロード 2 1 0 1
(32) 優先日	平成14年9月19日 (2002. 9. 19)	(74) 代理人	100059959
(33) 優先権主張国	米国 (US)		弁理士 中村 稔
		(74) 代理人	100067013
			弁理士 大塚 文昭
		(74) 代理人	100082005
			弁理士 熊倉 禎男
		(74) 代理人	100065189
			弁理士 穴戸 嘉一
		最終頁に続く	

(54) 【発明の名称】 ワイヤボンディング機を用いて半導体相互接続のためのバンプを形成する方法及び装置

(57) 【要約】

【課題】 半導体の相互接続用途のバンプを形成する方法及び装置を提供する。

【解決手段】 バンプは、(1) バンプ位置においてボールボンディングし、(2) ボールボンドを形成した後に、キャピラリの先端部からワイヤが出ている状態で該キャピラリを所定の高さだけ上昇させ、(3) 該バンプがワイヤループのステッチボンドのためのプラットフォームとして用いられるべき場合には、好ましくは該ワイヤループの他端の位置に向かう方向に、該キャピラリを所定の距離だけ横方向に移動させ、(4) さらに該キャピラリを上昇させ、(5) 該キャピラリを対角線方向下方にかつ第1の横方向移動と反対の方向に移動させることにより形成される。次に、キャピラリを上昇させ、クランプを閉じ、該ワイヤのピグテールがバンプにおいて切り離されるように該キャピラリを再び上昇させることにより、ワイヤが切断される。

【選択図】 なし

【特許請求の範囲】

【請求項 1】

ワイヤボンディング機を用いて、半導体電氣的相互接続のためのバンプを形成する方法であって、以下の段階：

(1) ワイヤを備えるワイヤボンディング機であってキャピラリを有するワイヤボンディング機を用いて、ボールボンドを第 1 ボンド位置に形成し、

(2) 前記ボールボンドに取り付けられたワイヤが前記キャピラリから繰り出されるように、前記キャピラリを第 1 の高さだけ上昇させ、

(3) 前記キャピラリを横方向に第 1 の横方向距離だけ第 1 の方向に移動し、

(4) 前記キャピラリを第 2 の高さだけさらに上昇させ、

(5) 前記キャピラリを、下方成分及び前記第 1 の方向に対してほぼ反対の横方向成分を有する第 2 の方向に移動させ、

前記移動の少なくとも一部において、前記キャピラリが前記ワイヤを前記バンプと前記キャピラリとの間で挟み付けるようにし、

(6) 前記ワイヤを前記バンプから切断する、
各段階を含む、前記方法。

10

【請求項 2】

段階 (2) から段階 (5) がワイヤの折り曲げ部を前記ボールボンドの上部に形成する請求項 1 に記載の方法。

【請求項 3】

段階 (5) が、該ワイヤの折り曲げ部を前記キャピラリに接触させ、前記キャピラリが前記ワイヤの折り曲げ部の少なくとも一部を平滑化するようにし、これにより平滑な表面が前記バンプ上に作成されるようにすることを含む請求項 2 に記載の方法。

20

【請求項 4】

さらに、

(7) 段階 (5) 中において熱及び超音波エネルギーの少なくとも一方を加える、
段階を含む請求項 3 に記載の方法。

【請求項 5】

段階 (1) が、以下の段階：

(1. 1) 前記ワイヤの端部が前記キャピラリから突出している状態で前記キャピラリを前記バンプが形成されるべき位置の上方に位置決めし、

(1. 2) 前記ワイヤの前記端部を加熱して、ワイヤのボールが形成されるようにし、

(1. 3) 前記キャピラリを下降させて、前記ワイヤのボールを前記バンプのための位置に接触させ、前記ボールを前記位置に対して挟み付け、

(1. 4) 段階 (1. 3) の間に、熱及び超音波エネルギーの少なくとも一方を前記ボールに加える、

各段階を含む請求項 4 に記載の方法。

30

【請求項 6】

段階 (6) が、以下の段階：

(6. 1) 前記キャピラリを前記キャピラリから繰り出されたワイヤとともに上昇させ、

(6. 2) 前記ワイヤをクランプし、

(6. 3) 前記キャピラリをさらに上昇させて、前記ワイヤが挟まれた場所で該ワイヤを切る、

各段階を含む請求項 4 に記載の方法。

40

【請求項 7】

前記段階 (2) 及び段階 (4) が、前記キャピラリを真に垂直の方向に移動させることを含む請求項 4 に記載の方法。

【請求項 8】

前記第 1 の方向が真に横方向である請求項 7 に記載の方法。

50

【請求項 9】

前記バンプが、別の位置と前記バンプとの間にわたるワイヤループのステッチボンドのための位置として用いられ、前記第 1 の方向が前記別の位置の方向である請求項 4 に記載の方法。

【請求項 10】

段階（5）における前記移動の前記横方向成分が前記第 1 の方向とは厳密に反対の方向である請求項 4 に記載の方法。

【請求項 11】

前記第 1 の高さ、第 2 の高さ、第 1 の横方向距離、及び前記の対角線方向の移動の下方成分及び前記横方向成分が予め定められており、前記ワイヤの直径及び前記キャピラリの少なくとも 1 つの寸法の関数として定められる請求項 4 に記載の方法。 10

【請求項 12】

前記第 1 の横方向距離が、前記ワイヤの直径と前記キャピラリの面取り部直径との間の範囲内にある請求項 11 に記載の方法。

【請求項 13】

前記対角線方向の移動の前記横方向成分が、前記ワイヤの直径と前記キャピラリの面取り部直径との間の範囲内にある請求項 11 に記載の方法。

【請求項 14】

前記第 1 の高さが、前記キャピラリの面取り部直径の半分と前記キャピラリの面取り直径との間の範囲内にある請求項 11 に記載の方法。 20

【請求項 15】

前記第 2 の高さが、前記第 1 の高さとは前記第 1 の高さに前記ワイヤの直径の 2 倍を加えたものとの間の範囲内にある請求項 11 に記載の方法。

【請求項 16】

前記対角線方向の移動の前記垂直成分が、前記第 1 の高さに前記第 2 の高さを加えたものと、前記第 1 の高さに前記第 2 の高さを加えたものから前記ワイヤの直径を引いたものとの間の範囲内にある請求項 11 に記載の方法。

【請求項 17】

半導体電氣的相互接続のためのワイヤループを形成する方法であって、以下の段階：

（A）請求項 1 に記載されている通りバンプを形成し、 30

（B）第 2 のボールボンドを前記バンプから間隔をもった位置に形成し、

（C）ワイヤループを前記第 2 のボールボンドの位置と前記バンプの位置との間に形成し、

（D）前記バンプの上部にステッチボンドを形成してワイヤループを終らせる、各段階を含む、前記方法。

【請求項 18】

段階（A）が前記バンプを請求項 4 に記載されている通り形成することを含む請求項 17 に記載の方法。

【請求項 19】

段階（D）が前記ステッチボンドを前記バンプの前記平滑な表面上に形成することを含む請求項 18 に記載の方法。 40

【請求項 20】

前記第 2 のボールボンドの前記位置が、前記バンプの前記位置から前記第 1 の方向とはほぼ同じ方向に間隔をもって配設される請求項 19 に記載の方法。

【請求項 21】

ワイヤボンディング機であって、

キャピラリと、

前記キャピラリの孔を通してワイヤを供給するワイヤ供給システムと、

前記キャピラリの移動を制御する移動制御システムと、

を備え、前記移動制御システムが、以下の回路構成： 50

(1) ワイヤを備えるワイヤボンディング機であってキャピラリを有するワイヤボンディング機を用いて、ボールボンドを第1ボンド位置に形成し、

(2) 前記ボールボンドに取り付けられたワイヤが前記キャピラリから繰り出されるように、前記キャピラリを第1の高さだけ上昇させ、

(3) 前記キャピラリを横方向に第1の横方向距離だけ第1の方向に移動し、

(4) 前記キャピラリを第2の高さだけさらに上昇させ、

(5) 前記キャピラリを、下方成分及び前記第1の方向に対してほぼ反対の横方向成分を有する第2の方向に移動させ、前記移動の少なくとも一部において、前記キャピラリが前記ワイヤを前記バンプと前記キャピラリとの間で挟み付けるようにし、

(6) 前記ワイヤを前記バンプから切断する、

各回路構成を備えることを特徴とするワイヤボンディング機。

【請求項22】

タスク(2)からタスク(5)を実行する前記回路構成がワイヤの折り曲げ部を前記ボールボンドの上部に形成する請求項21に記載のワイヤボンディング機。

【請求項23】

タスク(5)を実行する前記回路構成が、該ワイヤの折り曲げ部を前記キャピラリに接触させ、前記キャピラリが前記ワイヤの折り曲げ部の少なくとも一部を平滑化するようにし、これにより平滑な表面が前記バンプ上に作成されるようにする回路構成を備える請求項22に記載のワイヤボンディング機。

【請求項24】

前記回路構成がデジタル処理装置を備える請求項23に記載のワイヤボンディング機。

【請求項25】

前記デジタル処理装置が、コンピュータのソフトウェアを作動させるコンピュータを備える請求項24に記載のワイヤボンディング機。

【請求項26】

さらに、

前記ボールボンディングの形成及び前記ステッチボンドの形成の少なくとも一方において、エネルギーを加えるようにされている熱変換器及び超音波変換器の少なくとも1つ、を備える請求項25に記載のワイヤボンディング機。

【請求項27】

タスク(6)を実行する前記回路構成が、以下の回路構成

(6.1) 前記キャピラリを前記キャピラリから繰り出されたワイヤとともに上昇させ、

(6.2) 前記ワイヤをクランプし、

(6.3) 前記キャピラリをさらに上昇させて、前記ワイヤが挟みつけられた場所で該ワイヤを切る、

各回路構成を備える請求項23に記載のワイヤボンディング機。

【請求項28】

タスク(2)及びタスク(4)を実行する前記回路構成が、前記キャピラリを真に垂直の方向に移動させる回路構成を備える請求項23に記載のワイヤボンディング機。

【請求項29】

タスク(3)を実行する前記回路構成が、前記キャピラリを真に横方向に移動させる回路構成を備える請求項28に記載のワイヤボンディング機。

【請求項30】

前記バンプが、別の位置と前記バンプとの間にわたるワイヤループのステッチボンドのための位置として用いられ、前記第1の横方向が前記別の位置に向かう方向である請求項23に記載のワイヤボンディング機。

【請求項31】

前記の対角線方向の移動の前記横方向成分が、前記第1の方向とは厳密に反対の方向である請求項23に記載のワイヤボンディング機。

10

20

30

40

50

【請求項 3 2】

前記第 1 の高さ、第 2 の高さ、第 1 の横方向距離、及び前記の対角線方向の移動の下方成分及び前記横方向成分の距離が予め定められており、前記ワイヤの直径及び前記キャピラリ寸法の少なくとも 1 つの寸法の関数として定められる請求項 4 に記載の方法。

【請求項 3 3】

前記移動制御システムが、さらに以下の回路構成：

第 2 のボールボンドを前記バンプから間隔をもった位置に形成し、

前記第 2 のボールボンドの前記位置と前記バンプの位置との間にワイヤループを形成し

、
前記バンプの上部にステッチボンドを形成して前記ワイヤループを終らせる、
各回路構成を備える請求項 2 3 のワイヤボンディング機。

10

【請求項 3 4】

段階（D）が前記ステッチボンドを前記バンプの前記平滑な表面上に形成することを含む請求項 3 3 に記載のワイヤボンディング機。

【請求項 3 5】

前記第 2 のボールボンドの前記位置が、前記バンプの前記位置から前記第 1 の方向とほぼ同じ方向に間隔をもって配設される請求項 3 4 に記載のワイヤボンディング機。

【請求項 3 6】

半導体電氣的相互接続のためのバンプを形成するキャピラリを備えるワイヤボンディング機を制御するコンピュータ読込み可能な製品であって、

20

前記コンピュータ読込み可能な製品が、

（1）前記ワイヤボンディング機の前記キャピラリを用いてボールボンドを第 1 のボンド位置に形成し、

（2）前記ボールボンドに取り付けられたワイヤが前記キャピラリから繰り出されるように、前記キャピラリを第 1 の高さだけ上昇させ、

（3）前記キャピラリを横方向に第 1 の横方向距離だけ第 1 の方向に移動し、

（4）前記キャピラリを第 2 の高さだけさらに上昇させ、

（5）前記キャピラリを、下方成分及び前記第 1 の方向に対してほぼ反対の横方向成分を有する第 2 の方向に移動させ、

前記移動の少なくとも一部において、前記キャピラリが前記ワイヤを前記バンプと前記キャピラリとの間で挟み付けるようにし、

30

（6）前記ワイヤを前記バンプから切断する、
ためのコンピュータ実行可能な指示を含むことを特徴とするコンピュータ読込み可能な製品。

【請求項 3 7】

タスク（2）からタスク（5）を実行する前記コンピュータ実行可能な指示がワイヤの折り曲げ部を前記ボールボンドの上部に形成する請求項 3 6 に記載のコンピュータ読込み可能な製品。

【請求項 3 8】

タスク（5）を実行する前記コンピュータ実行可能な指示が、前記キャピラリが前記ワイヤの折り曲げ部の少なくとも一部を平滑化するように該ワイヤの折り曲げ部が前記キャピラリと接触して、これにより平滑な表面が前記バンプ上に作成されるようになった回路構成を含む請求項 3 7 に記載のコンピュータ読込み可能な製品。

40

【請求項 3 9】

さらに、

（7）タスク（5）を実行する前記コンピュータ読込み可能な指示中に、熱及び超音波エネルギーの少なくとも 1 つを加える、

ためのコンピュータ読込み可能な指示を含む請求項 3 8 に記載のコンピュータ読込み可能な製品。

【請求項 4 0】

50

タスク（１）を実行するコンピュータ読み取り可能な指示が、

（１．１）前記ワイヤの端部が前記キャピラリから突出している状態で、前記キャピラリを前記バンプが形成されるべき位置の上方に位置決めし、

（１．２）前記ワイヤの前記端部を加熱して、ワイヤのボールが形成されるようにし、

（１．３）前記キャピラリを下降させて、前記ワイヤのボールが前記バンプのための位置に接触し、前記ボールを前記位置に対して挟み付けるようにし、

（１．４）段階（１．３）の間に、熱及び超音波エネルギーの少なくとも一方を前記ボールに加える、

ためのコンピュータ読み取り可能な指示を含む請求項３９に記載のコンピュータ読み取り可能な製品。

10

【請求項４１】

タスク（２）及びタスク（４）を実行する前記コンピュータ読み取り可能な指示が、前記キャピラリを完全な垂直方向に移動させるコンピュータ読み取り可能な指示を含む請求項３９に記載のコンピュータ読み取り可能な製品。

【請求項４２】

タスク（５）を実行する前記コンピュータ読み取り可能な指示が、前記キャピラリを真に横方向に移動させるコンピュータ読み取り可能な指示を含む請求項４１に記載のコンピュータ読み取り可能な製品。

【請求項４３】

前記バンプが、別の位置と前記バンプとの間にわたるワイヤループのステッチボンドのための位置として用いられ、段階（２）における前記第１の横方向が前記別の位置に向かう方向である請求項３９に記載のコンピュータ読み取り可能な製品。

20

【請求項４４】

前記対角線移動の前記横方向成分が、前記第１の方向とは厳密に反対の方向である請求項３９に記載のコンピュータ読み取り可能な製品。

【請求項４５】

前記第１の横方向距離が、前記ワイヤの直径と前記キャピラリの面取り部直径との間の範囲内にある請求項４４に記載のコンピュータ読み取り可能な製品。

【請求項４６】

対角線方向の移動の前記横方向成分が、前記ワイヤの直径と前記キャピラリの面取り部直径との間の範囲内にある請求項４４に記載のコンピュータ読み取り可能な製品。

30

【請求項４７】

前記第１の高さが、前記キャピラリの面取り部直径の半分と前記キャピラリの面取り直径との間の範囲内にある請求項４４に記載のコンピュータ読み取り可能な製品。

【請求項４８】

前記第２の高さが、前記第１の高さと前記第１の高さに前記ワイヤの直径の２倍を加えたものとの間の範囲内にある請求項４４に記載のコンピュータ読み取り可能な製品。

【請求項４９】

前記対角線方向の移動の前記垂直成分が、前記第１の高さに前記第２の高さを加えたものと、前記第１の高さに前記第２の高さを加えたものから前記ワイヤの直径を引いたものとの間の範囲内にある請求項４４に記載のコンピュータ読み取り可能な製品。

40

【請求項５０】

さらに、

（８）第２のボールボンドを前記バンプから間隔をもった位置に形成し、

（９）ワイヤループを前記第２のボールボンドの位置と前記バンプの位置との間に形成し、

（１０）前記バンプの上部にステッチボンドを形成して前記ワイヤループを終らせる、ためのコンピュータ実行可能な指示を含む請求項３６に記載のコンピュータ読み取り可能な製品。

【請求項５１】

50

さらに、

(8) 第2のボールボンドを前記バンプから間隔をもった位置に形成し、

(9) ワイヤループを前記第2のボールボンドの位置と前記バンプの位置との間に形成し、

(10) 前記バンプの上部にステッチボンドを形成して前記ワイヤループを終らせる、ためのコンピュータ実行可能な指示を含む請求項39に記載のコンピュータ読み可能な製品。

【請求項52】

タスク(10)を実行するコンピュータ実行可能な製品が、前記ステッチボンドを前記バンプの前記平滑な表面上に形成することを含む請求項51に記載のコンピュータ読み可能な製品。 10

【請求項53】

前記第2のボールボンドの前記位置が、前記バンプの前記位置から前記第1の横方向とほぼ同じ方向に横方向に隔てられる請求項52に記載のコンピュータ読み可能な製品。

【請求項54】

半導体電氣的接続のためのバンプであって、
表面上に形成されるボールボンドと、
前記ボールボンドの上部に形成されるワイヤの折り曲げ部と、
を備えることを特徴とするバンプ。

【請求項55】

前記バンプがワイヤボンディング機により形成され、前記ボールボンド及び前記ワイヤの折り曲げ部が前記ワイヤボンディング機からのワイヤで形成される請求項54に記載のバンプ。 20

【請求項56】

前記ワイヤの折り曲げ部が平滑で傾斜が付けられた上面を備える請求項54に記載のバンプ。

【請求項57】

前記ワイヤの折り曲げ部が、前記ボールボンドの上部と一体で、該ボールボンドの上部から横方向成分を有する第1の方向に延びる第1端を有する第1の折り曲げられた部分を有し、該第1の折り曲げられた部分がさらに第2端を有し、前記ワイヤの折り曲げ部が前記第1の折り曲げられた部分の前記第2端から、前記第1の方向とはほぼ反対の第2の方向に延びる第2の折り曲げられた部分を備える請求項56に記載のバンプ。 30

【請求項58】

前記第2の折り曲げられた部分が、前記第1の折り曲げられた部分の前記第2端から延びる第1端と、前記ワイヤの折り曲げ部が前記ワイヤボンディング機から切断される第2端とを備える請求項57に記載のバンプ。

【請求項59】

前記第1の方向及び前記第2の方向が対角線方向であり、各々が横方向成分及び垂直成分を備える請求項58に記載のバンプ。

【請求項60】

前記平滑で傾斜が付けられた表面が、前記第2の折り曲げられたワイヤ部分に形成される請求項59に記載のバンプ。 40

【請求項61】

前記平滑で傾斜が付けられた表面が、前記バンプの前記形成中に前記ワイヤボンディング機のキャピラリにより前記第2のワイヤの折り曲げ部分を削りとることにより形成される請求項60に記載のバンプ。

【請求項62】

前記ボールボンドが、前記ワイヤボンディング機のキャピラリを用いて、前記ワイヤを前記表面上にボールボンディングすることにより形成され、前記ワイヤの折り曲げ部が(a) 前記ボールボンドに取り付けられたワイヤが前記キャピラリから繰り出されるように 50

、前記キャピラリを第1の高さだけ前記ボールの上方に上昇させ、(b)前記キャピラリを横方向に第1の横方向距離だけ第1の方向に移動させ、(c)前記キャピラリを第2の高さだけさらに上昇させ、(d)前記キャピラリを、下方成分及び前記第1の方向に対してほぼ反対の横方向成分を有する第2の方向に移動させ、前記移動の少なくとも一部において、前記キャピラリが前記ワイヤを前記バンプと前記キャピラリとの間で挟み付けるようにし、(e)前記ワイヤを前記バンプから切断する、ことにより形成される請求項61に記載のバンプ。

【請求項63】

前記ワイヤの折り曲げ部が、前記キャピラリを前記第2の方向に移動させている間に熱又は超音波エネルギーの少なくとも一方をさらに加えることにより形成される請求項62に記載のバンプ。 10

【請求項64】

半導体電氣的相互接続のためのワイヤループであって、
請求項54に記載されているバンプと、
前記バンプから間隔をもった位置に形成される第2のボールボンダと、
前記バンプの上部に形成されるステッチボンダと、
前記第2のボールボンダと一体でかつ該第2のボールボンダから延びる第1端と、前記ステッチボンダと一体でかつ該ステッチボンダから延びる第2端とを含むワイヤループと、
を備えることを特徴とするワイヤループ。 20

【請求項65】

前記ワイヤの折り曲げ部が、平滑で傾斜が付けられた上面を備え、前記ステッチボンダが前記バンプの前記平滑で傾斜が付けられた表面上に作られた請求項64に記載のワイヤループ。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、半導体の電氣的相互接続技術に関する。より具体的には、本発明は、ワイヤボンディング機を用いて半導体相互接続のためのバンプを形成することに関する。

【背景技術】

【0002】

一般的な用途において、半導体ダイのボンダパッドとリードフレーム又は他の基板との間に電氣的相互接続を形成するための幾多の技術がある。最も古くからあり、依然として最も一般的な技術の1つは、ワイヤボンディング機を用いて、ワイヤボンダをダイとその基板との間に形成することである。ワイヤボンディング機は、空気を介して、ダイのボンダパッドと基板上の適当な電氣的接続点(例えば、リードフレームのリードフィンガ)との間にワイヤを形成する。

典型的なワイヤボンダは、金ワイヤの一端をダイ上のボンダパッドに「ボールボンディング」し、該ワイヤの他端をリードフレームに「ステッチボンディング」することにより作られる。より具体的には、図1Aを参照すると、ボールボンディング機10(図は、キャピラリ及び該キャピラリのボアホールから突出するワイヤだけを示す)を用いて、ワイヤ12(一般的には金であるが、必ずしも金である必要はない)が、該ワイヤボンディング機10のキャピラリ14のボアに通される。キャピラリ14は、ワイヤが該キャピラリに対して移動しないようにクランプ19が閉じた状態で、ダイ18のボンダパッド16の上方に位置決めさせられる。キャピラリから突出するワイヤの端部は、該ワイヤの端部が溶融されるように「電氣的フレームオフ」と呼ばれる電氣火花により加熱される。ワイヤの端部は、溶融されると、本質的にボール20の状態になる。図1Aは、工程のこの時点におけるボールボンディング装置の状態を示す。 40

【0003】

ワイヤがキャピラリから出ないように又は該キャピラリの中に滑り戻ることができない 50

ように、依然としてクランプが閉じた状態で、次に、ボール20がダイ上のボンドパッド16と接触し、該ボールが該キャピラリの先端部と該ボンドパッドとの間に挟み付けられるように、キャピラリ14を下方に移動させる。ボール20がボンドパッド16と接着するように、熱及び／又は超音波エネルギーをダイ18に加える。こうしたボンドは、一般的には、ボールボンド又は第1のボンドと呼ばれる。次に、クランプ19が開かれる。図1Bは、工程のこの時点におけるボールボンディング装置の状態を示す。次に、図1Cに示すように、キャピラリ14を第1のボンドの上方に上昇させる。

次に、キャピラリ14は、ワイヤ12（依然としてボールボンドに接続されている）が該キャピラリから延びている状態で、基板24上の位置である第2のボンド位置に移動させられる。第1のボンド位置と第2のボンド位置との間のキャピラリの移動は、該第1のボンド位置と該第2のボンド位置との間にワイヤが適切な形状のループを形成するのに望まれる如何なる特定の移動成分をも含むことができる。第2のボンド位置22において、キャピラリは、図1Dに示すように、ワイヤ12が該キャピラリ14の先端部と基板24との間に挟み付けられるように該基板24に接触する。再び、基板24に対するワイヤ12の圧縮部分の接着が行われるように、熱及び／又は超音波エネルギーを加える。こうしたボンドは、一般的に、ステッチボンド又は第2のボンドと呼ばれる。この時点において、ワイヤは挟み付けられているが、完全には切断されていない。次に、ワイヤ12が依然としてステッチボンドに取り付けられ、かつ付加的なワイヤがキャピラリから繰り出されるように、クランプが依然として開いた状態で、キャピラリ14を上昇させる。次に、図1Eに示すように、クランプ19が閉じられ、キャピラリをさらに上昇させて、ステッチボンドにおける脆弱化地点でワイヤが切られる。図1Eにおいて参照番号23により示される完成した相互接続は「ワイヤループ」と呼ばれる。

【0004】

この時点で、キャピラリは、ダイ上の次のボンドパッドの上方の位置に移動させられ、最終段階が完了した後の該キャピラリの先端部から外に突き出ているワイヤは、次のワイヤボンドを形成するために、電氣的フレイムオフによって溶融され、次のボールが形成される。

図1Aないし図1Eに示すように、ボールボンドは、半導体ダイのボンドパッド上に作られ、ステッチボンドは基板上に作られるのが普通である。通常、ステッチボンドを作るためには、キャピラリの先端部が、第2のボンド位置における表面及び該第2のボンド位置を取り囲む表面と本質的に接触しなければならないため、ステッチボンドをダイのボンドパッド上に作るのは推奨されない。キャピラリがダイの上部に接触すると、該ダイ上の回路に損傷を与えることがある。一方、キャピラリは、通常、基板に悪影響を及ぼすことはないので、通常は問題なく基板と接触させることができる。

それにもかかわらず、ステッチボンドをダイ上に作ることが望ましいこともある。このような状況の1つは、ダイのボンドパッドをリード要素に接続する代わりに、1つのダイ上のボンドパッドを別のダイ上のボンドパッドに相互接続する必要があるときである（以下、ダイ間ボンディング）。この状況においては、ワイヤループの両端は、ダイのボンドパッド上にある。ダイ間ワイヤループを作るのにボールボンディング機を用いることを望む場合には、一方のダイが、ボールボンドではなくステッチボンドを受け取らなければならない。

【0005】

ダイのボンドパッドにステッチボンドを行うことが望ましい別の状況は、極めて薄型の（すなわち、薄い）半導体ダイのパッケージが望まれるときである。これは、図1Eに見られるように、ワイヤループの最も高い地点がボールボンドに近接しているためである。ダイ18が基板の上部にあるため、該ダイ18の上面のボンドパッド16は、該基板24よりも高い高さにある。従って、薄型パッケージングの状況において、パッケージ全体の高さを最小限にするためには、ボールボンドをリードフレーム上に作り、ステッチボンドをダイ上に作って、ボールボンドの近くにあるワイヤの最も高い地点が、標準的な順方向のワイヤボンディング技術の場合よりも高さが低くなるようにすることが望ましい場合が

10

20

30

40

50

ある（以下、リバーズボンディング）。従って、全体のパッケージの高さを下げることができる。しかしながら、上述の理由のために、すなわち、キャピラリがステッチボンドを形成するためにダイと接触したとき、該キャピラリは該ダイ上の周囲の回路に損傷を与えることがあるために、通常、ステッチボンドをダイのボンドパッド上に形成することは可能ではない。さらに、典型的なワイヤループ 23 の拡大した外形である図 2 に示すように、該ワイヤは、ステッチボンド位置 22 に近接した最も低い地点 26 まで垂れ下がる傾向がある。リバーズボンディングの場合のようにステッチボンド位置がボールボンド位置よりも高い場合には、ワイヤは、ダイの縁部又は上面か、或いはさらに他のワイヤに接触して、該ワイヤの電氣的ショート又はワイヤの破損をもたらすことになる。

【0006】

10

従って、この問題を改良するための技術が開発されてきた。こうした技術の 1 つは、バンプをダイ上のボンドパッドの上部に形成し、次にステッチボンドをそのバンプ上に形成して、キャピラリの先端部がダイではなくバンプの上部に接触するようにするものである。バンプは、例えば、ループを形成するものと同じワイヤボンディング機を用いて形成することができる。具体的には、ワイヤボンディング機は、通常の方法により使用して、ボールボンドをダイパッド上に置き、次にワイヤを出してワイヤループを形成し、第 2 の位置で、該ワイヤループをステッチボンディングする代わりに、ワイヤをボールの真上で切断して、ボールボンドだけが該ボンドパッド上に残されるようにする。具体的には、（1）ボールボンドが形成された後にクランプが開いた状態でキャピラリを上昇させ、（2）該クランプを閉じ、（3）さらに該キャピラリを上昇させて、該ボールの上部の脆弱地点でワイヤを切り離すことにより、該ワイヤを切断することができる。次に、ループの第 1 の／ボールボンドが基板上に形成され、ループの第 2 の／ステッチボンドがボンドパッド上のバンプの上部に形成された状態で、リバーズボンディング工程を実行することができる。

20

【0007】

電子部品をますます小さくするという絶えることのない流れの結果として、ワイヤボンディングに用いられるワイヤの直径、ボールボンドの大きさ、及びダイ上のボンドパッドのピッチ（間隔）もすべて減少している。さらに、パッケージは、ますます薄くなっている。従って、リバーズボンディングにおける現在の技術は、ますます効果が弱くなっている。具体的には、リバーズボンディングにおいて、ワイヤがダイの上部又は縁部或いは隣接するワイヤに接触しないようにすることを比較的確実にするのに十分なワイヤループの高さ方向の間隙を達成することがますます困難になっている。さらに、バンプがますます小さくなるにつれて、信頼性のあるステッチボンドを該バンプ上に形成することがますます困難になっている。バンプの上部におけるステッチボンドの形成についての信頼性を改良する助けとなるように用いられてきた 1 つの技術は、形成の際に該バンプの上部を平滑化することである。例えば、1 つの特定の技術は、（1）ワイヤを溶融し、溶融されたボールがボンドパッド上に押圧されるようにキャピラリを下方に移動させ、熱及び／又は超音波エネルギーを加えることにより、通常の方法でボールボンドをパッド上に形成し、（2）該キャピラリの先端部が依然として該ボール内にある状態で該キャピラリを僅かに（該ワイヤの僅かな厚さのオーダーだけ）上昇させ、（3）該キャピラリの先端部が該ボールの上部の近くにある金を部分的に切り、該ボールの上部を平滑にするように超音波エネルギーを加えながら、該キャピラリを横方向又は対角線方向下向きに移動させ、（4）該ワイヤ（依然として該ボールの上部に取り付けられている）が該キャピラリから繰り出されるようにクランプを開いた状態で該キャピラリを上昇させ、（5）クランプを閉じ、（6）該ワイヤが引っ張られるようにキャピラリをさらに上昇させて、該ワイヤが該ボールの上部において生成された脆弱地点で切られるようにするものである。図 3 は、この工程により形成されたバンプ 30 を示す。バンプは、本質的には、上部に傾斜が付けられ平滑な表面 32 とワイヤが切断されたナブ 33 とをもったボールボンド 31 を備える。この工程により形成されたバンプは、より均一な高さ、その上にステッチボンディングを信頼性のある形で形成するのにより適している大きくて平滑な表面とを有する傾向がある。しかし

30

40

50

ながら、極めて微細なワイヤ及び／又は微細なピッチを用いる場合には、ワイヤとダイとの間に適当な間隙を保証することは、この技術を用いても依然として困難である。

【0008】

多くの場合、ボールの上部を平滑にする対角線方向の移動は、厳密に横方向の移動よりも好ましい。具体的には、完全に横方向の平滑化移動が多くの用途にうまく作用したが、ボールの大きさ及びピッチの大きさが減少し続けると、この完全に横方向の平滑化移動の際に、キャピラリの先端部によりバンプ上に及ぼされた力が、該バンプをパッドから引き剥がすことがあることが見出された。いずれの実施形態においても、バンプ上部の一部が削り取られていたため、この技術は、多くの場合、不十分な間隙に関するさらに大きな問題に見まわれていた。

基板に対する半導体素子の電氣的相互接続のためのバンプ形成は、フリップ・チップ・ボンディングと呼ばれる別の周知の技術において用いられている。フリップ・チップ技術においては、半導体ダイの「上」面（すなわち、ボンドパッド及び回路を支持している面）が下方に面するように、該半導体ダイが「裏返される」。バンプは、ダイ上のボンドパッドと嵌合するように基板上の所定の位置に形成される。逆向きのダイが基板上に押し下げられて、該ダイは、ボンドパッドが基板上のスタッドバンプと電気接触した状態で、該基板上に逆さまに吊り下げられるようになり、ダイ上の残りの回路が基板と接触しないようにされる。本質的にはリバースワイヤボンディングのためのバンプを形成する上述の方法により、ワイヤボンディング機を用いてこうしたバンプを形成することを含む、スタッドバンプを基板上に形成する種々の技術がよく知られている。フリップ・チップ相互接続技術において、基板の表面とダイの表面との間における電気ショートを避けるのに十分な間隙を保証するために必要な最低限のバンプ高さがある。ワイヤの直径及びボンドパッドのピッチが減り続けるに伴い、ワイヤボンディング機を用いて十分な高さ及び均一性のあるバンプを形成することがますます困難になっている。

【発明の開示】

【発明が解決しようとする課題】

【0009】

従って、本発明の目的は、半導体の電氣的相互接続用途のバンプを形成する方法及び装置を改良することである。

本発明の別の目的は、半導体の電氣的相互接続用途のバンプを改良することである。

本発明のさらに別の目的は、ワイヤボンディング機を用いて半導体の電氣的相互接続用途のバンプを形成する方法及び装置を改良することである。

本発明のさらに別の目的は、ワイヤボンディング機を用いてリバースボンディングを実行する方法及び装置を改良することである。

【課題を解決するための手段】

【0010】

本発明によると、リバースワイヤボンディング又はフリップ・チップ相互接続のためのスタッドバンプのような半導体の相互接続用途のバンプは、（１）バンプ位置においてボールボンディングし、（２）ボールボンドを形成した後に、キャピラリの先端部からワイヤが出ている状態で該キャピラリを所定の高さだけ上昇させ、（３）該キャピラリを所定の距離だけ横方向に移動させ、（４）さらに該キャピラリを上昇させ、（５）該キャピラリを対角線方向下方に、第１の横方向移動とは反対の横方向に移動させることにより形成される。次に、キャピラリを上昇させ、クランプを閉じ、該ワイヤのピグテールがバンプにおいて切り離されるように該キャピラリを再び上昇させることにより、ワイヤが切断される。

キャピラリは、該キャピラリの先端部がバンプ上部の一部に接触し、該一部を平滑にするようにする最終的な対角線方向の移動が可能ないように位置決めさせられることが好ましい。この技術は、フリップ・チップ用途及びリバースワイヤボンディング用途の両方において、増加した間隙が設けられるように、より高くより大きなバンプを形成することができる。リバースワイヤボンディング用途において、第１の横方向の移動は、ステッチボン

ドが形成されるバンプ上部の傾斜が付けられた平滑な表面が該ワイヤループの方向に上向きに傾斜するように、ワイヤループの他端の位置（すなわち、完成したループの第1の／ボールボン드가形成される位置）に向かう方向にあることが好ましい。この構成は、ワイヤがステッチボンドにおいてより大きな上向きの角度を有するようにすることにより、ステッチボンドの近くでワイヤの垂れ下がり を最小にする傾斜が付けられた表面をもたらす。

【0011】

第1及び第2のキャピラリ上昇の高さと、横方向移動の距離と、対角線方向移動の距離及び角度についての最良の値は、総合的に、バンプの一部を形成するボールボンズの大きさの大部分を定めるワイヤの直径及びキャピラリの寸法に大きく依存する。これらの値はさらに、バンプの特定の目的にも依存する。例えば、バンプがワイヤループのための第2のボンズ位置となるべき場合には、傾斜が付けられた平滑な表面の所望の高さは、バンプがフリップ・チップ相互接続のためのスタッドバンプとして用いられるときの所望の高さよりも一般的に低くなる。一般的には、より大きな又はより高いバンプが必要とされる場合には、これらの距離を増加させることは、バンプの上部に折り曲げ部を形成する際にキャピラリから繰り出されるワイヤ量を増加させることになるため、横方向及び対角線方向の移動はより大きくなる。さらに、高さを増加させることが、ステッチボンディングの特定の表面を形成することよりも重要な場合には、2つの上昇高さのパラメータと横方向及び対角線方向の移動のパラメータを調整して、より急な折り曲げ部をバンプ上部設けるようにすることができる。

リバースワイヤ形成の用途においては、バンプが上述のように形成されると、次に、同じ又は異なるワイヤボンディング機で、第2の位置で別のボールボンズを形成し、該バンプ上部にステッチボンズを形成することによりワイヤループを完成させることができる。

【発明を実施するための最良の形態】

【0012】

図4Aから図4Fは、全体的に、本発明による例示的なバンプ形成工程の異なる6段階におけるキャピラリの先端部及びワイヤの位置を示す。図示のように、バンプ形成工程の始まりは、本質的に従来技術と同一である。具体的には、この工程は、ワイヤ40がキャピラリ41から短い距離だけ延びた状態から始まる。ワイヤは、溶融し本質的にボール42に形成されるように電気火花が当てられる。次に、キャピラリはボンズ位置43に接触するように下降し、ボールを該ボンズ位置の表面に対して挟み付け、キャピラリの先端部の形状によって決められるバンプの初期形状を形成する。ボールと表面との間にボンズが形成されるように、熱及び／又は超音波エネルギーが加えられる。図4Aは、この時点における工程を示す。

次に、キャピラリ41は、接着されたボール42の上部から短い距離だけ延びるようにワイヤを出すために、クランプ（図示せず）が開いた状態で上昇する。この上昇の距離をここでは分離高さと呼ぶ。図4Bは、この段階の後のキャピラリ位置を示す。次に、キャピラリ41は、横方向に第1の方向に（図4Aから図4Fにおいて右側に）図4Cに示すように、ワイヤをねじれさせるように移動して、これにより2つの湾曲部40a及び40bがワイヤに形成される。この横方向移動の距離をここでは折り曲げオフセットと呼ぶ。次に、キャピラリは、付加的なワイヤが出されるように、短い距離だけ再び上方に移動する。一般的には、必ずしも必要ではないが、この第2の垂直方向の上昇距離は、少なくとも第1の垂直方向の上昇距離に、ここでは折り曲げ係数と呼ばれる付加的な距離を加えた距離である。従って、この第2の垂直方向の上昇距離は、一般的に本明細書においては、分離高さ（すなわち、第1の垂直方向の上昇）と折り曲げ係数との合計と言われる。第2の垂直方向の上昇が分離高さよりも小さくなるような特別な状況においては、折り曲げ係数は、単に負の値となるだけである。折り曲げ係数は、バンプの上部を形成するワイヤの折り曲げ部におけるワイヤ量を制御するのに用いられる。図4Dは、工程におけるこの時点のキャピラリ及びワイヤの位置を示す。次に、キャピラリは、対角線方向下方に、及び左側に戻るように移動して、ワイヤをバンプ上の該ワイヤ自体の上に折り曲げる。具体的

には、標準的なベクトル解析を用いると、対角線方向の移動は、2つの直交成分、すなわち、垂直成分と横方向（すなわち、水平）成分とからなると考えることができる。垂直成分は、ここではバンプ高さと呼ばれるもので終わる下方成分である。従って、対角線方向の移動についての垂直成分の距離は、分離高さからバンプ高さを引いたものである。対角線方向の移動についての横方向成分は、ここでは折り返しオフセットと呼ばれ、一般的に、第1の横方向、すなわち、折り曲げオフセットの方向とは反対の方向にあるものである。これにより、ワイヤは、それ自体の上に折り曲がるようになる。種々の移動の距離、すなわち、分離高さ、折り曲げオフセット、折り返しオフセット、及びバンプ高さは、キャピラリの先端部が対角線方向の移動の少なくとも一部にわたりワイヤ内にあるように選択されて、該キャピラリの先端部が該キャピラリの先端部の周りで湾曲するワイヤの一部を削り取るようになり、これにより平滑化され傾斜が付けられた表面がバンプ上に生成されるようになることが好ましい。図4Eは、対角線方向の移動の終わりにおけるキャピラリの先端部を示す。

10

【0013】

次に、短い距離だけワイヤが出されるように、キャピラリ41はクランプが開いた状態で上昇する。次に、クランプは閉じられ、バンプの平滑化された部分の端部でワイヤが切られるように、再びキャピラリ41が上昇する。図4Fは、本質的にはバンプ形成工程の終わりであるこの時点におけるキャピラリ41及びバンプ42の位置を示す。

ワイヤボンディング機は、該ワイヤボンディング機がここで述べられた行程を実行することができる制御回路によって制御される。一般に、この回路は、プログラムされた汎用コンピュータ、デジタル信号プロセッサ、状態機械、組み合わせ論理回路、マイクロプロセッサ、特定用途向け集積回路、又はその他の周知のデジタル処理手段のいずれかのようなデジタル処理装置を備える。この回路がコンピュータを備える場合には、本発明は、排他的ではないが、主として、ワイヤボンディング機械がここに説明された行程を実行するように該コンピュータをプログラムするためのソフトウェア内に属する。

20

【0014】

ここで、図4Aから図4Fと関連して上述のように本発明により形成された例示的なバンプ50の正面図である図5を参照すると、該バンプは、図4Aに示すようにボールボンドを形成する初期段階の際に一般的に形成される底部51を備える。バンプの底部51の上部には、ワイヤの折り曲げ部52がある。ワイヤの折り曲げ部52は、一般的には、バンプのボールボンド部分51の上部から延び、その上部と一体の第1端56aと第2端56bとを有する第1の折り曲げられた部分56と、本質的に、第1の折り曲げられた部分の第2端56bと並べて置かれた第1端57aと第2端57bとを有する第2の折り曲げられた部分57からなる。折り曲げ部上の平滑化され傾斜が付けられた部分53は、図4D及び図4Eにより示される前述の対角線方向の移動の際に、上述のキャピラリによる削り取りによって、バンプの第2の折り曲げられた部分57に形成されたものである。ナブ54は、本質的にワイヤが切断されたところに残され、本質的に第2の折り曲げられた部分の第2端57aにある。薄く網掛けされた部分55は、平滑化され傾斜が付けられた表面53が形成されるようにキャピラリの先端部により削り取られたワイヤ材料の量を表わす。

30

40

本発明の代替的な実施形態においては、対角線方向の移動は、横方向の移動とそれに続く下方向の移動とからなる2つの一連の移動に分割することができる。この2段階の行程は、キャピラリの外側縁に傾斜が付けられており、それがワイヤに接触するときには、図5に全体的に示されるように、平滑な対角線方向の表面を形成することになるため、やはり平滑化され傾斜が付けられた表面をもたらす。

【0015】

適切なバンプを形成するための分離高さ、バンプ高さ、折り曲げ係数、折り曲げオフセット、及び折り返しオフセットについての特定値は、キャピラリの先端部、キャピラリの穴径、及びキャピラリ面取り部直径、並びにワイヤの直径の寸法に大いに依存する。一般に、ワイヤの直径が大きくなればなるほど、折り曲げオフセット及び折り返しオフセット

50

値も大きくなる必要がある。通常、前述のパラメータについての最良の値は、経験的な根拠及び特定用途の目標に基づいて求めることが好ましい。例えば、バンプがフリップ・チップ相互接続のために用いられる場合には、平滑化され傾斜が付けられた部分の正確な形状及び高さは特に重要ではない。むしろ、バンプの合計の高さが最も重要な要素となり得る。一方、バンプがリバースワイヤボンディングにおける第2のボンド位置として用いられる場合には、平滑化され傾斜が付けられた表面の形状及び／又は高さが、該バンプの最大の高さよりも重要となる傾向がある。

一般的に、フリップ・チップ用途のためにはより望ましいことになる全体がより高いバンプは、(1) 該バンプ上部のワイヤの折り曲げ部の傾斜、及び(2) 該折り曲げ部を形成するワイヤの量の1方又は両方を増加させることにより形成することができる。傾斜が付けられ平滑化された表面の傾斜は、一般的に、折り曲げオフセットを減らし、折り返しオフセットを、分離高さに対して増加させることにより増加させることができる。さらに、折り曲げ部におけるワイヤの量は、一般的に、分離高さ及び折り曲げ係数を増加させることにより増加する。図6A及び図6Bは、全体のバンプ高さの増加が重要なものとして考慮されて設計された本発明により形成されたバンプの走査型電子顕微鏡写真(SEM)である。これらのバンプは、次の例示的なパラメータを用いて形成されたものである。

パラメータ	値
ワイヤ直径	1.0ミル
キャピラリ面取り部直径	1.8ミル
キャピラリ先端部直径	3.9ミル
キャピラリ穴径	1.3ミル
バンプ高さ	0.5ミル
分離高さ	1ミル
折り曲げオフセット	1ミル
折り返しオフセット	-2ミル
折り曲げ係数	1ミル

【0016】

一方、ステッチボンディングにおいて、傾斜が付けられ平滑化された表面について、より小さい傾斜とより大きい面積を達成することがより重要な場合には、一般的に、折り曲げオフセットを増加させ、折り返しオフセットの距離を分離高さに対して減らすことにより、該傾斜が付けられ平滑化された表面の傾斜を減らし、その面積を増加させることができる。図7Aから図7Dは、ステッチボンディングにおいて大きな平滑で安定した表面という条件が重要なものとして考慮されて設計された本発明により形成されたバンプのSEMである。これらのバンプは、次の例示的なパラメータを用いて形成されたものである。

パラメータ	値
ワイヤ直径	1.18ミル
キャピラリ面取り部直径	2.3ミル
キャピラリ先端部直径	5.1ミル
キャピラリ穴径	1.6ミル
バンプ高さ	0.5ミル
分離高さ	1.2ミル
折り曲げオフセット	1.8ミル
折り返しオフセット	-1.8ミル (図7A)
	-1.5ミル (図7B)
	-1.4ミル (図7C)
	-1.1ミル (図7D)
折り曲げ係数	0.75ミル

【0017】

下の表は、ワイヤボンディング機の制御パラメータ（すなわち、分離高さ、パンプ高さ、折り曲げオフセット、折り返しオフセット、及び折り曲げ係数）についての最小値、最大値、及び推奨値を、キャピラリ及びワイヤの寸法、すなわち、ワイヤの直径（WD）、キャピラリ先端部直径（TIP）、キャピラリ面取り部直径（CD）、及びキャピラリの穴径（HD）の関数として示すものである。最小値及び最大値は、リバースボンディング及びフリップ・チップ・パンピングに必要な異なるパンプ形状を達成する際に適切な結果がもたらされるように示された範囲を定める。これらの範囲の外にある値もまた、非常に満足できる結果をもたらすことができ、これらの範囲は単に例示的なものに過ぎない。さらに、「推奨」と表示が付された縦の列は、上述のように、好ましくは、経験的に求められ、特定の用途によって決まるべきである最良の値についての実験に基づいた判断のための推奨される始点を示す。

10

パラメータ	最小	最高	推奨
パンプ高さ	0.0	WD	0.5WD
分離高さ	CD/2	CD	HD
代替的な分離高さ	WD	2WD	HD
折り曲げオフセット	WD	CD	HD
折り返しオフセット	WD	CD	(TIP - CD) / 2
折り曲げ係数	0.0	2WD	0.5WD

【0018】

20

一般に、如何なる所定のワイヤの直径及びキャピラリの大きさについての所望のパンプも高くなればなるほど、折り曲げオフセットは短くなり、及び／又は、分離高さ、折り返しオフセット及び／又は折り曲げ係数は大きくなる。パンプがワイヤループのステッチボンドのためのプラットフォームとして用いられるべき場合には、上記の表の「最小」値と「推奨」値との間の値が、より適当であり得ることが観察された。一方、フリップ・チップ・ボンディングの場合が典型的であるように、パンプ高さの増加がより重要な場合には、上記の表の「推奨」値と「最高」値との間のパラメータ値が、より適当であり得る。

ステッチボンドが傾斜した表面上に作られるという事実は、ワイヤが該ステッチボンドの近くに垂れ下がらないようにする助けとなる。ステッチボンドが大きな平滑な表面上に作られるという事実は、該ステッチボンドの信頼性を改良する。

30

【0019】

図8は、ステッチボンドがパンプの上部に作られた本発明によるワイヤループを示す。この特定の実施形態においては、パンプ61及びステッチボンド62は、その上にワイヤループ67の第1の／ボールボンド66が作られる、リードフレーム65のような基板上に支持されたダイ64のボンドパッド63上に作られる。図8に見られるように、ワイヤループ67は、傾斜が付けられた平滑化された表面の上り坂方向にあるパンプ61及びステッチボンド62から離れる方向に延びる（図8の右側に）。従って、ワイヤは、該ワイヤがステッチボンドの近くに垂れ下がらない状態を維持するのを助ける上向きの角度で、該ステッチボンドから離れる方向に延びる。作動において、パンプ61が、図4Aから図4Fと関連した上述の方法によりボンドパッド63上に置かれる。次に、同じ又は異なるワイヤボンダのキャピラリが、ワイヤループの第1の／ボールボンドのために基板65上の位置に移動し、ボールボンド66を形成する。次に、キャピラリが、ワイヤループの第2の／ステッチボンドのための位置となるすでに形成されたパンプ61の上方の位置に移動する。第1のボンド位置と第2のボンド位置との間のキャピラリの移動は、ワイヤループ67を適切に成形するのに必要であると考えられる如何なる移動の構成要素をも含むことができる。次に、第2の／ステッチボンド62が、パンプ61の傾斜が付けられた平滑な部分68の上部に作られる。具体的には、キャピラリは下方に移動し、傾斜が付けられた平滑な表面に接触し、このようにして、キャピラリ先端部とこの傾斜が付けられた平滑な表面との間にワイヤを挟みつける。熱及び／又は超音波エネルギーを加えて、接着を助けることができる。次に、キャピラリは、短い距離のワイヤが出るようにクランプが開いた

40

50

状態で上昇する。クランプが閉じ、キャピラリは再び上昇して、脆弱化したステッチボンドにおいてワイヤが切られるようになる。結果として得られたワイヤループ67が図8に示される。

図9は、本明細書の背景部分において上述された従来技術により半導体ダイのボンドパッド上に作られた複数のバンプの走査型電子顕微鏡写真（SEM）である。

【0020】

図10は、本発明により半導体ダイのボンドパッド上に作られた複数のバンプのSEMである。図示されるように、バンプは、ステッチボンドを受け入れるためのより多くの金、より高い高さ、及びより大きくより急に傾斜が付けられた平滑な表面を有する。

図11Aは、本明細書の背景部分において上述された従来技術により半導体ダイのボンドパッド上に作られたバンプ上に作られたステッチボンドの近くにある複数のワイヤループの一部を示すSEMである。図11Bは、図11Aを異なるより低い視点から見た従来技術のボンドを示すSEMである。図11A及び図11Bの両方に見られるように、ワイヤループは実質的に垂れ下がり、ダイの縁部に接触しそうになっている。

図12Aは、本発明により半導体ダイのボンドパッド上に作られたバンプの上部に作られたステッチボンドの近くにある複数のワイヤループの一部を示すSEMである。図12Bは、図12Aを異なるより低い視点から見たボンドを示すSEMである。図示されるように、ワイヤループは、図11A及び図11Bにより示される従来技術のものよりも実質的に少なく垂れ下がり、ダイの上面及び縁部を実質的な距離だけ空けている。

【0021】

リバースワイヤボンディング及びフリップ・チップのような半導体の相互接続用途のためのバンプを作成する新しい方法及び装置が開示された。さらに、ワイヤループボンディング、特にリバースワイヤループボンディングのための方法及び装置が開示された。本発明の幾つかの利点は、フリップ・チップ相互接続用途においては基板の間隙を改良する助けとなり、リバースワイヤループボンディング用途においてはワイヤループの間隙を改良し、ワイヤの垂れ下がりをも最小限にする助けとなる、より大きな及び／又はより高いバンプの形成を含む。本発明により形成されたバンプは、リバースワイヤループボンディング用途においてステッチボンドを形成することができる、より大きくより均一でより安定した平滑な表面を形成する。中でも、これはループの安定性（ループ形状の一貫性及びループ高さの一貫性を含む）を改良する助けとなる。

このように本発明の幾つかの特定の実施形態について説明してきたが、当業者であれば、種々の代替技術、修正及び改良を容易に想い付くであろう。この開示により明らかにされたような代替技術、修正及び改良は、ここでは明記されていないが、この説明の一部であることを意図しており、本発明の精神及び範囲内にあることを意図している。従って、上述の説明は例に過ぎず、限定するものではない。本発明は、特許請求の範囲において定義されたもの、及びその均等物にのみ限定されるものである。

【図面の簡単な説明】

【0022】

【図1A】 従来技術によるワイヤボンディングの段階を示す図である。

【図1B】 従来技術によるワイヤボンディングの段階を示す図である。

【図1C】 従来技術によるワイヤボンディングの段階を示す図である。

【図1D】 従来技術によるワイヤボンディングの段階を示す図である。

【図1E】 従来技術によるワイヤボンディングの段階を示す図である。

【図2】 従来技術によるワイヤループの外形である。

【図3】 1つの特定の従来技術によりワイヤボンディング機により形成されたバンプの外形である。

【図4A】 本発明の一実施形態によるバンプ形成技術の種々の段階におけるキャピラリ及びワイヤの位置を示す図である。

【図4B】 本発明の一実施形態によるバンプ形成技術の種々の段階におけるキャピラリ及びワイヤの位置を示す図である。

【図 4 C】本発明の一実施形態によるバンプ形成技術の種々の段階におけるキャピラリ及びワイヤの位置を示す図である。

【図 4 D】本発明の一実施形態によるバンプ形成技術の種々の段階におけるキャピラリ及びワイヤの位置を示す図である。

【図 4 E】本発明の一実施形態によるバンプ形成技術の種々の段階におけるキャピラリ及びワイヤの位置を示す図である。

【図 4 F】本発明の一実施形態によるバンプ形成技術の種々の段階におけるキャピラリ及びワイヤの位置を示す図である。

【図 5】本発明の実施形態によるワイヤボンディング機により形成されたバンプの形状である。

【図 6 A】本発明の一実施形態により形成されたバンプの走査型電子顕微鏡写真（SEM）である。

【図 6 B】本発明の一実施形態により形成されたバンプの走査型電子顕微鏡写真（SEM）である。

【図 7 A】本発明の別の実施形態により形成されたバンプの SEM である。

【図 7 B】本発明の別の実施形態により形成されたバンプの SEM である。

【図 7 C】本発明の別の実施形態により形成されたバンプの SEM である。

【図 7 D】本発明の別の実施形態により形成されたバンプの SEM である。

【図 8】本発明の実施形態によりワイヤボンディング機により形成された、リバーズボンDED ワイヤループのバンプの側面図である。

【図 9】従来技術により形成されたバンプの走査型電子顕微鏡写真である。

【図 10】本発明により形成されたバンプの走査型電子顕微鏡写真である。

【図 11 A】第 1 の視点から撮られた、従来技術によりダイと基板との間に形成された複数のワイヤボンドのステッチボンド端部の走査型電子顕微鏡写真である。

【図 11 B】第 1 の視点から撮られた、本発明によってダイと基板との間に形成された複数のワイヤボンドのステッチボンド端部の走査型電子顕微鏡写真である。

【図 12 A】図 8 A に見られるものとは異なる視野から見た、従来技術によりダイと基板との間に形成された複数のワイヤボンドのステッチボンド端部の走査型電子顕微鏡写真である。

【図 12 B】図 8 A に見られるものとは異なる視野から見た、本発明によりダイと基板との間に形成された複数のワイヤボンドのステッチボンド端部の走査型電子顕微鏡写真である。

【符号の説明】

【0023】

40：ワイヤ

41：キャピラリ

42：ボール

43：ボンド位置

61：バンプ

62：ステッチボンド

63：ボンドパッド

64：ワイヤループ

65：基板

66：第 1 の／ボールボンド

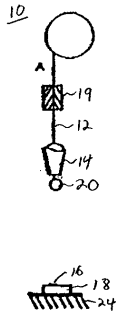
10

20

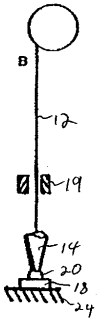
30

40

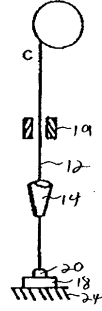
【図 1 A】



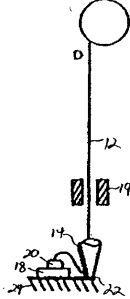
【図 1 B】



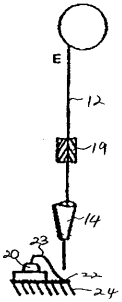
【図 1 C】



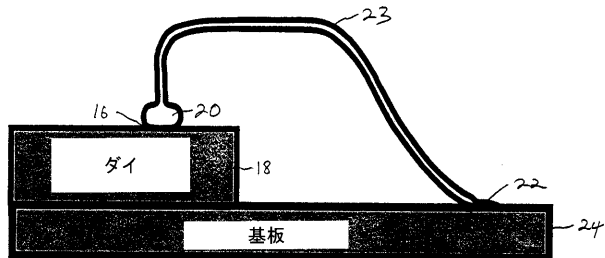
【図 1 D】



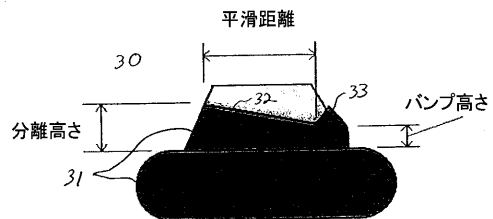
【図 1 E】



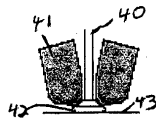
【図 2】



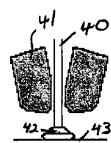
【図 3】



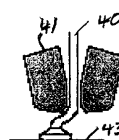
【図 4 A】



【図 4 B】



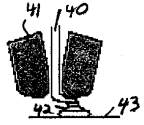
【図 4 C】



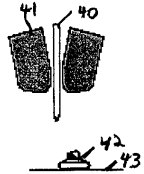
【図 4 D】



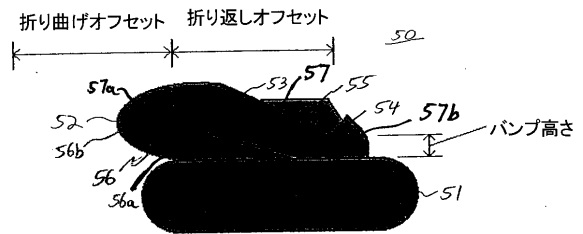
【図 4 E】



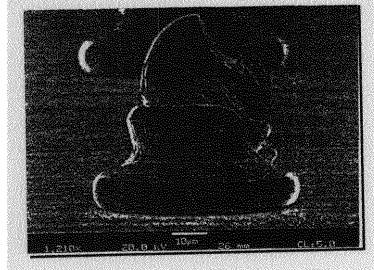
【図 4 F】



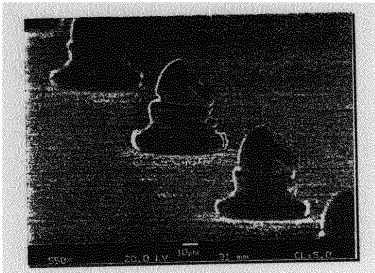
【図 5】



【図 6 A】



【図 6 B】



【図 7 C】



【図 7 D】



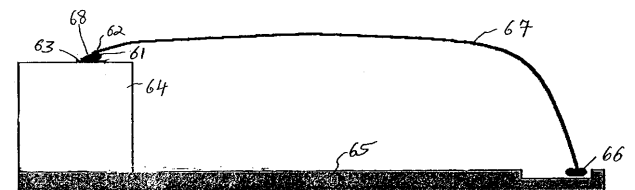
【図 7 A】



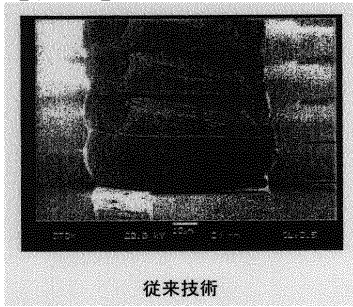
【図 7 B】



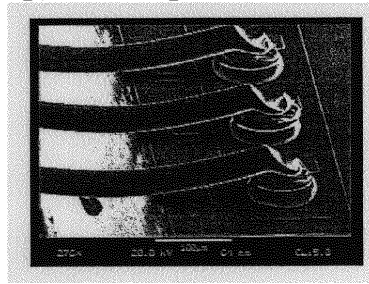
【図 8】



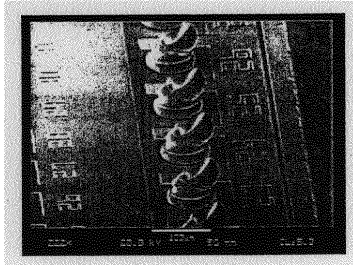
【図 9】



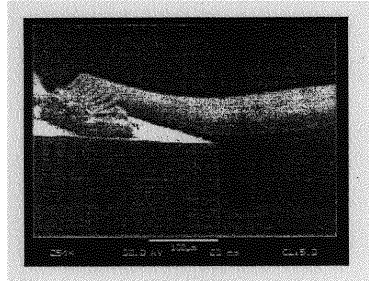
【図 1 1 A】



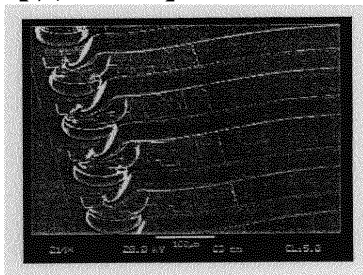
【図 1 0】



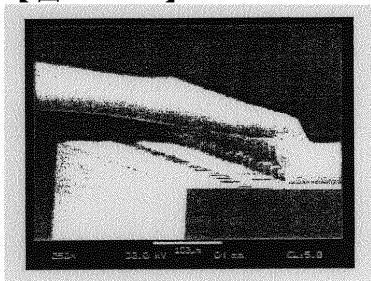
【図 1 1 B】



【図 1 2 A】



【図 1 2 B】



フロントページの続き

- (74)代理人 100074228
弁理士 今城 俊夫
- (74)代理人 100084009
弁理士 小川 信夫
- (74)代理人 100082821
弁理士 村社 厚夫
- (74)代理人 100086771
弁理士 西島 孝喜
- (74)代理人 100084663
弁理士 箱田 篤
- (72)発明者 スティーブン バビネッツ
アメリカ合衆国 ペンシルバニア州 19446 ランズデイル アディソン レーン 159
- (72)発明者 辻村 隆司
東京都三鷹市大沢6-2-19
- (72)発明者 森元 康弘
神奈川県川崎市宮前区宮崎2-8-51-405
- (72)発明者 大坪 広幸
神奈川県川崎市川崎区四谷上町11-12-103

【外国語明細書】

**METHOD AND APPARATUS FOR FORMING BUMPS FOR SEMICONDUCTOR
INTERCONNECTIONS USING A WIRE BONDING MACHINE****Field of the Invention**

The invention pertains to semiconductor electrical interconnection techniques. More particularly, the invention pertains to the formation of bumps for semiconductor interconnections using a wire bonding machine.

Background of the Invention

There are numerous techniques in common usage for forming the electrical interconnections between the bond pads of a semiconductor die and a lead frame or other substrate. One of the oldest and still most common techniques is to form a wire bond between a die and its substrate using a wire bonding machine. The wire bonding machine forms a wire through the air between the die bond pad and the appropriate electrical connection point on the substrate (e.g., a lead finger of a lead frame).

A typical wire bond is made by "ball bonding" one end of a gold wire to a bond pad on the die and "stitch bonding" the other end of the wire to the lead frame. More particularly and referring specifically to Figure 1A, using a ball bonding machine 10 (of which the Figures only show the capillary and the wire protruding from the capillary bore hole), a wire 12 (commonly, but not necessarily gold) is passed through the bore

17/22

of a capillary 14 of the wire bonding machine 10. The capillary 14 is positioned above the bond pad 16 of the die 18 with the clamps 19 closed to prevent the wire from moving relative to the capillary. The end of the wire protruding from the capillary is heated by means of an electric spark, termed "electric flame-off", to melt the end of the wire. The end of the wire inherently forms into a ball 20 when melted. Figure 1A shows the condition of the ball bonding apparatus at this point of the process.

With the clamps still closed so that the wire cannot pay out of the capillary or slide back within the capillary, the capillary 14 is then moved downwardly so that the ball 20 comes into contact with the bond pad 16 on the die and squeezes the ball between the tip of the capillary and the bond pad. Heat and/or ultrasonic energy are applied to the die 18 to facilitate the ball 20 becoming bonded to the bond pad 16. This bond is commonly termed a ball bond or first bond. Then the clamps 19 are opened. Figure 1B shows the condition of the ball bonding apparatus at this point of the process. The capillary 14 is then raised above the first bond as shown in Figure 1C.

Next, the capillary 14 is moved to a second bond site 22, this one on the substrate 24, with the wire 12 (which is still connected to the ball bond) trailing out of the capillary. The motion of the capillary between the first bond site and the second bond site may include any particular motion components desired to cause the wire to form a loop of appropriate shape between the first and second bond sites. At the second bond site 24, the capillary contacts the substrate 24 to pinch the wire 12 between the tip of the capillary 14 and the substrate 24, as shown in Figure 1D. Again,

heat and/or ultrasonic energy may be applied to facilitate bonding the compressed portion of the wire 12 to the substrate 24. This bond is commonly termed a stitch bond or second bond. At this point, the wire has been pinched, but has not been fully cut. The capillary 14 then rises with the wire 12 still attached to the stitch bond and with the clamps still open such that additional wire pays out of the capillary. The clamps 19 are then closed and the capillary 14 rises further to snap the wire at the weakened point at the stitch bond as shown in Figure 1E. The completed interconnection, indicated by reference numeral 23 in Figure 1E, is termed a "wire loop".

At this time, the capillary is moved to a position above the next bond pad on the die and the wire that is sticking out of the tip of the capillary after the completion of the last step is melted by electric flame-off to form the next ball for forming the next wire bond.

The ball bond is typically made on a bond pad on a semiconductor die and the stitch bond is made on the substrate, such as illustrated in Figures 1A-1E. Normally, it is inadvisable to make the stitch bond on the bond pad of the die because, in order to make a stitch bond, the capillary tip essentially must come in contact with the surface in and surrounding the second bond site. If the capillary contacts the top of a die, it likely will damage circuitry on the die. On the other hand, the capillary typically can come in contact with the substrate without a problem since the capillary typically will not harm the substrate.

Nevertheless, it is sometimes desirable to make a stitch bond on a die. One

such situation is when, instead of connecting a bond pad of a die to a lead element, one needs to interconnect a bond pad on one die to a bond pad on another die (hereinafter die-to-die bonding). In this situation, both ends of the wire loop are on bond pads of dies. If one wishes to use a ball bonding machine to make a die-to-die wire loop, one of the dies must receive a stitch bond rather than a ball bond.

Another situation where it may be desirable to stitch bond to a bond pad of a die is when a very low-profile (i.e., thin) semiconductor die package is desired. This is because the highest point of a wire loop is close to the ball bond, as can be seen from Figure 1E. The bond pad 16 on the top surface of the die 18 is at a higher elevation than the substrate 24 because the die 18 sits on top of the substrate. Accordingly, in low profile packaging situations, in order to minimize the height of the entire package, it is sometime desirable to make the ball bond on the lead frame and the stitch bond on the die (hereinafter reverse bonding) so that the highest point of the wire near the ball bond is at a lower elevation than in standard forward wire bonding techniques. Accordingly, the overall height of the package can be lessened. However, it usually would not be possible to form a stitch bond on a bond pad on a die for the reasons discussed above, namely, the capillary might damage surrounding circuitry on the die when it contacts the die to form the stitch bond. Even further, as shown in Figure 2, which is an enlarged profile of a typical wire loop 23, the wire tends to sag to its lowest point 26 close to the stitch bond site 22. If the stitch bond site is higher than the ball bond site, such as would be the case in reverse bonding, the wire might contact the

edge or the top surface of the die or even other wires leading to electrical shorts or breakage of the wire.

Accordingly, techniques have been developed to ameliorate this problem. One such technique is to form a bump on top of the bond pad on the die and then form the stitch bond on top of that bump so that the capillary tip contacts the top of the bump rather than the die. The bump may be formed, for instance, using the same wire bonding machine that forms the loop. Specifically, the wire bonding machine can be used to place a ball bond on the die pad in the normal fashion, but, instead of then paying out the wire to form a wire loop and stitch bonding the wire loop at a second location, the wire is severed right at the top of the ball leaving just the ball bond on the bond pad. Specifically, the wire can be severed by (1) raising the capillary with the clamps open after forming the ball bond, (2) closing the clamps, and (3) raising the capillary further to snap the wire off at the weak point at the top of the ball. A reverse bonding process can then be performed with the first/ball bond of the loop formed on the substrate and the second/stitch bond of the loop formed on top of the bump on the bond pad.

As a result of the ever-present drive toward making electronic components smaller and smaller, the diameters of the wires used in wire bonding, the size of the ball bonds and the pitch (spacing) of the bond pads on dies are all decreasing. Further, packages are becoming thinner and thinner. Accordingly, present techniques for reverse bonding are becoming less and less effective. Particularly, it is becoming

increasingly difficult in reverse bonding to achieve sufficient height clearance of the wire loops to reasonably assure that the wires will not contact the top or edge of the die or adjacent wires. Also, with smaller and smaller bumps, it is becoming increasingly difficult to form reliable stitch bonds on top of the bumps. One technique that has been employed to help improve the reliability of stitch bond formation on the tops of bumps is to smooth the top of the bump during its formation. For instance, one particular technique is to (1) form a ball bond on the pad in the normal fashion by melting the wire, moving the capillary down to press the melted ball onto the bond pad and applying heat and/or ultrasonic energy, (2) raising the capillary slightly (on the order of a fraction of the thickness of the wire) so that the capillary tip is still within the ball, (3) moving the capillary laterally or diagonally downward while applying ultrasonic energy such that the capillary tip partially cuts through the gold near the top of the ball and smooths the top of the ball, (4) raising the capillary with the clamps opened so that the wire (which is still attached to the top of the ball) pays out of the capillary, (5) closing the clamps, and (6) raising the capillary further to pull the wire causing the wire to snap off at the weak point created at the top of the ball. Figure 3 shows a bump 30 formed by this process. The bump essentially comprises a ball bond 31 with a sloped, smoothed surface 32 on top and a nub 33 where the wire was severed. Bumps formed by this process tend to have more uniform height and a large, smooth surface more amenable to reliable stitch bonding thereon. However, with very fine wires and/or fine pitch applications, it is still difficult with this technique to assure adequate clearance

between the wire and the die.

A diagonal motion to smooth the top of the ball often is preferable to a strictly lateral motion. Particularly, while the purely lateral smoothing motion worked well for many applications, it was found that, as ball sizes and pitches continued to decrease in size, the force exerted by the capillary tip on the bump during the purely lateral smoothing motion could tear the bump off of the pad. In either embodiment, since a portion of the top of the bump was being scraped off, this technique often suffered even greater problems of inadequate clearance.

Formation of bumps for electrical interconnection of semiconductor devices to substrates is used in another well known technique termed flip chip bonding. In flip chip techniques, the semiconductor die is "flipped" such that its "top" surface (i.e., the surface bearing the bond pads and circuitry) faces downwardly. Bumps are formed on the substrate in positions so as to mate with bond pads on the die. The upside down die is pressed down onto the substrate so that the die is suspended upside-down on the substrate with the bond pads in electrical contact with the stud bumps on the substrate such that the remaining circuitry on the die does not contact the substrate. Various techniques for forming the stud bumps on the substrate are well known, including forming such bumps with a wire bonding machine essentially in the way described above for forming bumps for reverse wire bonding. In flip chip interconnect techniques, there is a minimum bump height necessary to assure adequate clearance between the surface of the substrate and the surface of the die to avoid electrical

shorting. As wire diameters and pitches of the bond pads continue to decrease, it is becoming more and more difficult to form bumps of sufficient height and uniformity with a wire bonding machine.

Accordingly, it is an object of the present invention to provide an improved method and apparatus for forming bumps for semiconductor electrical interconnection applications.

It is another object of the present invention to provide an improved bump for semiconductor electrical interconnection applications.

It is a further object of the present invention to provide an improved method and apparatus for forming bumps for semiconductor electrical interconnection applications using a wire bonding machine.

It is a yet a further object of the present invention to provide an improved method and apparatus for performing reverse bonding using a wire bonding machine.

Summary of the Invention

In accordance with the present invention, a bump for semiconductor electrical interconnection applications, such as reverse wire bonding or stud bumping for flip chip interconnections, is formed by (1) ball bonding at the bump site, (2) raising the capillary a predetermined height after forming the ball bond with the wire paying out of the capillary tip, (3) moving the capillary laterally a predetermined distance, (4) further raising the capillary, and (5) moving the capillary diagonally downwardly in the opposite

lateral direction of the first lateral motion. The wire is then severed by raising the capillary, closing the clamps and raising the capillary again to snap the wire pigtail off at the bump.

Preferably the capillary is positioned for the final diagonal motion so that the tip of the capillary contacts and smooths a portion of the top of the bump. This technique can form a taller and larger bump to provide increased clearance for both flip chip applications and reverse wire bonding applications. For reverse wire bonding application, the first lateral motion preferably is in a direction toward the site of the other end of the wire loop (i.e., where the first/ball bond of the completed loop will be formed) so that the sloped, smooth surface on top of the bump where the stitch bond will be formed slopes upwardly toward the direction of the wire loop. This arrangement provides a sloped surface that minimizes wire sag near the stitch bond by causing the wire to have more of an upward angle at the stitch bond.

The best values for the first and second capillary rise heights, the lateral motion distance, and the distance and angle of the diagonal motion depend largely on the wire diameter and the dimensions of the capillary, which, collectively, largely define the size of the ball bond that forms part of the bump. They also will depend on the particular purpose of the bump. For instance, if the bump is to be the second bond site for a wire loop, the desired height of the sloped, smooth surface will generally be less than the desired height when the bump is used as a stud bump for flip chip interconnection. Generally, the lateral and diagonal motions will be larger if a larger or taller bump is

needed since increasing these distances will increase the amount of wire that pays out of the capillary during formation of the fold on top of the bump. Also, if increasing height is more important than providing a particular surface of stitch bonding, the two rise height parameters and the lateral and diagonal motion parameters may be adjusted to provide a steeper fold on top of the bump.

In a reverse wire looping application, once the bump is formed as described above, the same or a different wire bonding machine can then form another ball bond at a second location and complete the wire loop by forming a stitch bond on top of the bump.

Brief Description of the Drawings

Figures 1A through 1E are diagrams illustrating the steps of wire bonding in accordance with the prior art.

Figure 2 is a profile of a wire loop in accordance with the prior art.

Figure 3 is a profile of a bump formed by a wire bonding machine in accordance with one particular prior art technique.

Figures 4A through 4F are diagrams illustrating the position of the capillary and wire at various stages of the bump formation technique in accordance with one embodiment of the present invention.

Figure 5 is a profile of a bump formed by a wire bonding machine in accordance with an embodiment of the present invention.

Figures 6A and 6B are scanning electron micrographs (SEMs) of bumps formed in accordance with one embodiment of the present invention.

Figures 7A through 7D are SEMs of bumps formed in accordance with another embodiment of the present invention.

Figure 8 is a profile of a reverse bonded wire loop bump formed by a wire bonding machine in accordance with an embodiment of the present invention.

Figure 9 is a scanning electron micrograph of a bump formed in accordance with the prior art.

Figure 10 is a scanning electron micrograph of a bump formed in accordance with the present invention.

Figure 11A is a scanning electron micrograph of the stitch bond ends of a plurality of wire bonds formed between a die and a substrate in accordance with the prior art taken from a first perspective.

Figure 11B is a scanning electron micrograph of the stitch bond ends of a plurality of wire bonds formed between a die and a substrate in accordance with the present invention taken from a first perspective.

Figure 12A is a scanning electron micrograph of the stitch bond ends of a plurality of wire bonds formed between a die and a substrate in accordance with the prior art as seen from a different perspective than seen in Figure 8A.

Figure 12B is a scanning electron micrograph of the stitch bond ends of a plurality of wire bonds formed between a die and a substrate in accordance with the

present invention as seen from a different perspective than seen in Figure 8B.

Detailed Description of the Present Invention

Figures 4A through 4F generally illustrate the position of the capillary tip and the wire at six different stages of an exemplary bump formation process in accordance with the present invention. As shown, the beginning of the bump formation process is essentially identical to the prior art techniques. Particularly, the process starts with a short distance of the wire 40 extending from the capillary 41. The wire is hit with an electric spark to cause it to melt and inherently form into a ball 42. The capillary then drops down to contact the bond site 43 and squeeze the ball against the surface of the bond site and form the initial shape of the bump as dictated by the shape of the capillary tip. Heat and/or ultrasonic energy is applied to form the bond between the ball and the surface. Figure 4A shows the process at this point.

Next, the capillary 41 rises with the clamps (not shown) open in order to pay out a short distance of wire extending from the top of the bonded ball 42. The distance of this rise is herein termed the separation height. Figure 4B shows the capillary position after this step. The capillary 41 then moves laterally in a first direction (to the right in Figures 4A through 4F) to kink the wire as shown in Figure 4C, thus forming two bends 40a and 40b in the wire. The distance of this lateral motion is herein termed the fold offset. The capillary then moves upward again a short distance to pay out additional wire. Generally, although not necessarily, the distance of this second vertical rise will

be at least the distance of the first vertical rise plus an extra distance herein termed the fold factor. Accordingly, the distance of this second vertical rise will generally be referred to in this specification as the sum of the separation height (i.e., the first vertical rise) and the fold factor. In any special circumstances where the second vertical rise is to be less than the separation height, the fold factor is simply a negative value. The fold factor is used to control the amount of wire in the wire fold that forms the top of the bump. Figure 4D shows the position of the capillary and wire at this point in the process. The capillary then moves diagonally downward and back to the left to fold the wire back on top of itself on top of the bump. Particularly, using standard vector analysis, the diagonal motion can be considered to comprise two orthogonal components, namely a vertical component and a lateral (that is, horizontal) component. The vertical component is a downward component ending at what is herein termed the bump height. Accordingly, the distance of the vertical component of the diagonal motion is the separation height minus the bump height. The lateral component of the diagonal motion is herein termed the fold return offset and is generally in the opposite direction of the first lateral direction, i.e., the fold offset. This causes the wire to fold over on itself. Preferably, the distances of the various motions, i.e., separation height, fold offset, fold return offset and bump height, are selected so that the capillary tip is within the wire over at least a portion of the diagonal motion such that the capillary tip scrapes off part of the wire that bends around the tip of the capillary, thus creating a smoothed, sloped surface on top of the bump. Figure 4E show the capillary tip at the

end of the diagonal motion.

Next, the capillary 41 rises with the clamps open in order to pay out a short distance of wire. The clamps are then closed and the capillary 41 rises again to snap the wire at the end of the smoothed portion of the bump. Figure 4F shows the position of the capillary 41 and bump 42 at this point, which essentially is the end of the bump formation process.

The wire bonding machine is controlled by control circuitry that can cause the machine to perform the process described herein. Commonly the circuitry comprises a digital processing device such as a programmed general purpose computer, a digital signal processor, a state machine, a combinational logic circuit, a microprocessor, an application specific integrated circuit or any other known digital processing means. If the circuitry comprises a computer, the invention would reside largely, if not exclusively, in the software for programming the computer to control the wire bonding machine to perform the processes described herein.

Referring now to Figure 5, which is an elevation view of an exemplary bump 50 formed in accordance with the present invention as described above in connection with Figures 4A through 4F, the bump comprises a bottom portion 51 generally formed during the initially steps of forming a ball bond as illustrated in Figure 4A. On top of the bottom portion of the bump 51 is a fold of wire 52. The fold of wire 52 generally comprises a first folded portion 56 having a first end 56a extending from and integral with the top of the ball bond portion 51 of the bump and a second end 56b, a second

folded portion 57 having a first end 57a that is essentially collocated with the second end 56b of the first folded portion and a second end 57b. Smoothed, sloped portion 53 on the fold was formed in the second folded portion 57 of the bump by the above-described scraping by the capillary tip during the aforementioned diagonal motion illustrated by Figures 4D and 4E. Nub 54 essentially is left where the wire was severed and essentially is at the second end 57a of the second folded portion. Lightly shaded portion 55 represents the volume of wire material that was scraped by the capillary tip to form the smoothed, sloped surface 53.

In an alternative embodiment of the invention, the diagonal motion can be split into two sequential motions comprising a lateral motion followed by a downward motion. This two step process still provides a smoothed, sloped surface since the outside edge of the capillary is sloped and, if it contacts the wire, it will form a smooth diagonal surface as generally shown in Figure 5.

The particular values for separation height, bump height, fold factor, fold offset, and fold return offset to form an appropriate bump depend largely on the dimensions of the capillary tip, capillary hole diameter and capillary chamfer diameter, and the wire diameter. In general, the larger the wire diameter, the larger the fold offset and fold return offset values necessary. Normally, it is preferred to determine the best values for the aforementioned parameters on an empirical basis and based on the goals of the specific application. For instance, if the bump is to be used for flip chip interconnections, the exact shape and height of the smoothed, sloped portion may not

be particularly significant. Rather, the total height of the bump is likely the most important factor. If, on the other hand, the bump is to be used as the site of the second bond in reverse wire bonding, then the shape and/or height of the smoothed, sloped surface tends to be more important than the ultimate height of the bump.

Generally, taller overall bumps, which may be more desirable for flip chip applications, can be formed by increasing one or both of (1) the slope of the wire fold on top of the bump and (2) the amount of wire that forms the fold. The slope of the sloped, smoothed surface generally can be increased by reducing the fold offset and increasing the fold return offset relative to the separation height. Further, the amount of wire in the fold is generally increased by increasing the separation height and fold factor. Figures 6A and 6B are scanning electron micrographs (SEMs) of bumps formed in accordance with the present invention designed with overall increased bump height as a significant concern. These bumps were made using the following exemplary parameters.

Parameter	Value
Wire diameter	1.0 mils
Capillary chamfer diameter	1.8 mils
Capillary tip diameter	3.9 mils
Capillary hole diameter	1.3 mils
Bump height	0.5 mils
Separation height	1 mils
Fold offset	1 mils

Fold return offset	-2 mils
Fold factor	1 mils

On the other hand, if it is more important to achieve a lesser slope and a greater area for the sloped, smoothed surface for stitch bonding, the slope of the sloped, smoothed surface generally can be decreased and the area thereof increased by increasing the fold offset and decreasing the fold return offset distances relative to the separation height. Figures 7A through 7D are SEMs of bumps formed in accordance with the present invention that were designed with the provision of a large smooth and stable surface for stitch bonding as a significant concern. These bumps were made using the following exemplary parameters.

Parameter	Value			
Wire diameter	1.18 mils			
Capillary chamfer diameter	2.3 mils			
Capillary tip diameter	5.1 mils			
Capillary hole diameter	1.6 mils			
Bump height	0.5 mils			
Separation height	1.2 mils			
Fold offset	1.8 mils			
Fold return offset	-1.8 mils (Figure 7A)	-1.5 mils (Figure 7B)	-1.4 mils (Figure 7C)	-1.1 mils (Figure 7D)
Fold factor	0.75 mils			

The table below shows minimum, maximum and exemplary values for the wire bonding machine control parameters (i.e., separation height, bump height, fold offset, fold return offset, and fold factor) as functions of the capillary and wire dimensions, i.e., wire diameter (WD), capillary tip diameter (TIP), capillary chamfer diameter (CD), and capillary hole diameter (HD). The minimum and maximum values define ranges that have been shown to provide appropriate results in achieving the different bump shapes necessary for reverse bonding and flip chip bumping. Values outside of these ranges may very well also produce acceptable results and these ranges are merely exemplary. Further, the column labeled "Exemplary" represent recommended starting points for experimental determination of the best values, which, as noted above, preferably should be determined empirically and depend on the particular application.

Parameter	Minimum	Maximum	Exemplary
Bump height	0.0	WD	0.5WD
Separation height	CD/2	CD	HD
Alternate separation height	WD	2WD	HD
Fold offset	WD	CD	HD
Fold return offset	WD	CD	(TIP-CD)/2
fold factor	0.0	2WD	0.5WD

In general, the higher the desired bump for any given wire diameter and capillary size, the shorter the fold offset and/or the greater the separation height, fold return offset and/or fold factor. It has been observed that, if the bump is to be used as a

platform for a stitch bond of a wire loop, values between the "Minimum" and "Exemplary" values in the table above are likely to be more appropriate. If, on the other hand, increased bump height is more important, as would typically be the case for flip chip bonding, then parameter values between the "Exemplary" and "Maximum" values in the table above are likely to be more appropriate.

The fact that the stitch bond made on a sloped surface helps keep the wire from sagging near the stitch bond. The fact that the stitch bond is made on a large, smooth surface improves the reliability of the stitch bond.

Figure 8 shows a wire loop in which the stitch bond is made on top of a bump made in accordance with the present invention. In this particular embodiment, the bump 61 and stitch bond 62 are made on the bond pad 63 of a die 64 that is supported on a substrate, such as a lead frame 65, on which the first/ball bond 66 of the wire loop 67 is made. As can be seen in Figure 8, the wire loop 67 extends away from the bump and stitch bond 61, 62 in the uphill direction of the sloped, smoothed surface (to the right in Figure 8). Thus, the wire extends away from the stitch bond at an upward angle that helps keep the wire from sagging near the stitch bond. In operation, the bump 61 is placed on the bond pad 63 in the manner described hereinabove in connection with Figures 4A through 4F. Next, the capillary of the same or a different wire bonder moves to the site on the substrate 65 for the first/ball bond of the wire loop and forms a ball bond 66. The capillary then moves to a position over the previously formed bump 61, which will be the location for the second/stitch bond of the wire loop. The motion of

the capillary between the first bond site and the second bond site can include any motion components deemed necessary to properly shape the wire loop 67. The second/stitch bond 62 is then made on top of the sloped, smooth portion 68 of the bump 61. Particularly, the capillary moves down and contacts the sloped, smooth surface, thus pinching the wire between the capillary tip and the sloped, smooth surface. Heat and/or ultrasonic energy may be applied to facilitate bonding. The capillary then rises with the clamps open to pay out a short distance of wire. The clamps close and the capillary rises again snapping the wire at the weakened stitch bond. The resulting wire loop 67 is shown in Figure 8.

Figure 9 is a scanning electron micrograph (SEM) of a plurality of bumps made on bond pads of a semiconductor die in accordance with the prior art technique described above in the background section of this specification.

Figure 10 is a SEM of a plurality of bumps made on bond pads of a semiconductor die in accordance with the present invention. As can be seen the bumps have more gold, a greater height and a larger and more steeply sloped, smooth surface for accepting a stitch bond.

Figure 11A is a SEM showing a portion of a plurality of wire loops near the stitch bonds made on top of a bump made on bond pads of a semiconductor die in accordance with the prior art technique described above in the background section of this specification. Figure 11B is a SEM showing the prior art bonds from Figure 11A from a different, lower perspective. As can be seen in both Figures 11A and 11B, the

wire loop sags substantially and almost contacts the edge of the die.

Figure 12A is a SEM showing a portion of a plurality of wire loops near the stitch bonds made on top of a bump made on bond pads of a semiconductor die in accordance with the present invention. Figure 12B is a SEM showing the bonds from Figure 12A from a different, lower perspective. As can be seen, the wire loops sag substantially less than in the prior art technique illustrated by Figures 11A and 11B and clear the top surface and edge of the die by a substantial distance.

We have disclosed new methods and apparatus for creating bumps for semiconductor interconnection applications, such as reverse wire bonding and flip chip. Further, we have disclosed a method and apparatus for wire loop bonding, particularly, reverse wire loop bonding. Some of the advantages of the present invention include the formation of a larger and/or taller bump that helps improve substrate clearance in flip chip interconnect applications and helps improve wire loop clearance and minimize wire sag in reverse wire loop bonding applications. Bumps formed in accordance with the present invention provide a larger, more uniform and more stable, smooth surface on which a stitch bond may be formed in a reverse wire looping application. Among other things, this helps improve loop stability (including, loop shape consistency and loop height consistency).

Having thus described a few particular embodiments of the invention, various alterations, modifications, and improvements will readily occur to those skilled in the art. Such alterations, modifications and improvements as are made obvious by this

disclosure are intended to be part of this description though not expressly stated herein, and are intended to be within the spirit and scope of the invention. Accordingly, the foregoing description is by way of example only, and not limiting. The invention is limited only as defined in the following claims and equivalents thereto.

CLAIMS

We claim:

1. A method for forming a bump for semiconductor electrical interconnection using a wire bonding machine, said method comprising the steps of:

(1) forming a ball bond at a first bond location using a wire bonding machine with wire, said wire bonding machine having a capillary;

(2) raising said capillary a first height such that wire attached to said ball bond pays out of said capillary;

(3) moving said capillary laterally a first lateral distance in a first direction;

(4) raising said capillary further by a second height;

(5) moving said capillary in a second direction, said second direction having a downward component and a lateral component, said lateral component being generally opposite of said first direction, wherein, during at least a portion of said movement, said capillary pinches said wire between said bump and said capillary; and

(6) severing said wire from said bump.

2. The method of claim 1 wherein steps (2) through (5) form a wire fold on top of said ball bond.

3. The method of claim 2 wherein step (5) comprises contacting said wire

fold with said capillary such that said capillary smooths at least a portion of said wire fold, thereby creating a smooth surface on said bump.

4. The method of claim 3 further comprising the step of:

(7) applying at least one of heat and ultrasonic energy during step (5).

5. The method of claim 4 wherein step (1) comprises the steps of:

(1.1) positioning said capillary above a location for said bump to be formed with an end of said wire protruding from said capillary;

(1.2) heating said end of said wire whereby it forms a ball of wire;

(1.3) lowering said capillary so as to cause said ball of wire to contact said location for a bump and squeeze said ball against said location; and

(1.4) applying at least one of heat and ultrasonic energy to said ball during step (1.3).

6. The method of claim 4 wherein step (6) comprises the steps of:

(6.1) raising said capillary with wire paying out of said capillary;

(6.2) clamping said wire; and

(6.3) raising said capillary further to snap said wire where it was pinched.

7. The method of claim 4 wherein steps (2) and (4) comprise moving said

capillary in a purely vertical direction.

8. The method of claim 7 wherein said first direction is a purely lateral direction.

9. The method of claim 4 wherein said bump will be used as a site for a stitch bond of a wire loop spanning between another location and said bump and wherein said first direction is toward said another location.

10. The method of claim 4 wherein said lateral component of said motion in step (5) is precisely opposite said first direction.

11. The method of claim 4 wherein said first height, second height, first lateral distance and downward component and said lateral component of said diagonal motion are predetermined and are determined as a function of a diameter of said wire and at least one dimension of said capillary.

12. The method of claim 11 wherein said first lateral distance is in a range between a diameter of said wire and a chamfer diameter of said capillary.

13. The method of claim 11 wherein a distance of said lateral component of

said diagonal motion is in a range between a diameter of said wire and a chamfer diameter of said capillary.

14. The method of claim 11 wherein said first height is in a range between one half of a chamfer diameter of said capillary and said chamfer diameter of said capillary.

15. The method of claim 11 wherein said second height is in a range between said first height and said first height plus twice a diameter of said wire.

16. The method of claim 11 wherein said vertical component of said diagonal motion is in a range between said first height plus said second height and said first height plus said second height minus a diameter of said wire.

17. A method of forming a wire loop for semiconductor electrical interconnection comprising the steps of:

- (A) forming a bump as set forth in claim 1;
- (B) forming a second ball bond at a location spaced from said bump;
- (C) forming a wire loop between said location of said second ball bond and a location of said bump; and
- (D) forming a stitch bond to terminate said wire loop, said stitch bond being

formed on top of said bump.

18. The method of claim 17 wherein step (A) comprises forming said bump as set forth in claim 4.

19. The method of claim 18 wherein step (D) comprises forming said stitch bond on said smooth surface of said bump.

20. The method of claim 19 wherein said location of said second ball bond is spaced from said location of said bump in about the same direction as said first direction.

21. A wire bonding machine comprising:
a capillary;
a wire delivery system for supplying wire through a bore in said capillary;
a motion control system for controlling motion of said capillary, said motion control system including circuitry for;

(1) forming a ball bond at a first bond location using a wire bonding machine with wire, said wire bonding machine having a capillary;

(2) raising said capillary a first height such that wire attached to said ball bond pays out of said capillary;

- (3) moving said capillary laterally a first lateral distance in a first direction;
- (4) raising said capillary further by a second height;
- (5) moving said capillary in a second direction, said second direction having a downward component and a lateral component, said lateral component being generally opposite said first direction, wherein, during at least a portion of said movement, said capillary pinches said wire between said bump and said capillary; and
- (6) severing said wire from said bump.

22. The wire bonding machine of claim 21 wherein said circuitry for performing tasks (2) through (5) form a wire fold on top of said ball bond.

23. The wire bonding machine of claim 22 wherein said circuitry for performing task (5) comprises circuitry for contacting said wire fold with said capillary such that said capillary smooths at least a portion of said wire fold, thereby creating a smooth surface on said bump.

24. The wire bonding machine of claim 23 wherein said circuitry comprises a digital processing device.

25. The wire bonding machine of claim 24 wherein said digital processing

device comprises a computer running computer software.

26. The wire bonding machine of claim 25 further comprises:

at least one of a heat transducer and an ultrasonic transducer adapted to apply energy during at least one of said ball bonding formation and said stitch bond formation.

27. The wire bonding machine of claim 23 wherein said circuitry for performing task (6) comprises circuitry for:

(6.1) raising said capillary with wire paying out of said capillary;

(6.2) clamping said wire; and

(6.3) raising said capillary further to snap said wire where it was pinched.

28. The wire bonding machine of claim 23 wherein said circuitry for performing tasks (2) and (4) comprise circuitry for moving said capillary in a purely vertical direction.

29. The wire bonding machine of claim 28 wherein said circuitry for performing task (3) comprises circuitry for moving said capillary in a purely lateral direction.

30. The wire bonding machine of claim 23 wherein said bump will be used as a site for a stitch bond of a wire loop spanning between another location and said bump and wherein said first lateral direction is in a direction toward said another location.

31. The wire bonding machine of claim 23 wherein said lateral component of said diagonal motion is precisely opposite said first direction.

32. The wire bonding machine of claim 23 wherein said first height, second height, first lateral distance and said downward component and a distance of said lateral component of said diagonal motion are predetermined and are determined as a function of a diameter of said wire and a dimension of said capillary.

33. The wire bonding machine of claim 23 wherein said motion control system further includes circuitry for;

forming a second ball bond at a location spaced from said bump;

forming a wire loop between said location of said second ball bond and a location of said bump; and

forming a stitch bond to terminate said wire loop, said stitch bond being formed on top of said bump.

34. The wire bonding machine of claim 33 wherein step (D) comprises

forming said stitch bond on said smooth surface of said bump.

35. The wire bonding machine of claim 34 wherein said location of said second ball bond is spaced from said location of said bump in about the same direction as said first direction.

36. A computer readable product for controlling a wire bonding machine comprising a capillary for forming bumps for semiconductor electrical interconnection, said computer readable product comprising computer executable instructions for:

(1) forming a ball bond at a first bond location using said capillary of said wire bonding machine;

(2) raising said capillary a first height such that wire attached to said ball bond pays out of said capillary;

(3) moving said capillary laterally a first lateral distance in a first direction;

(4) raising said capillary further by a second height;

(5) moving said capillary in a second direction, said second direction having a downward component and a lateral component, said lateral component being generally opposite of said first direction, wherein, during at least a portion of said movement, said capillary pinches said wire between said bump and said capillary; and

(6) severing said wire from said bump.

37. The computer readable product of claim 36 wherein said computer readable instructions for performing tasks (2) through (5) form a wire fold on top of said ball bond.

38. The computer readable product of claim 37 wherein said computer readable instructions for performing task (5) comprises computer readable instructions for contacting said wire fold with said capillary such that said capillary smooths at least a portion of said wire fold, thereby creating a smooth surface on said bump.

39. The computer readable product of claim 38 further comprising computer readable instructions for:

(7) applying at least one of heat and ultrasonic energy during said computer readable instructions for performing task (5).

40. The computer readable product of claim 39 wherein said computer readable instructions for performing task (1) comprises computer readable instructions for:

(1.1) positioning said capillary above a location for said bump to be formed with an end of said wire protruding from said capillary;

(1.2) heating said end of said wire whereby it forms a ball of wire;

(1.3) lowering said capillary so as to cause said ball of wire to contact said

location for a bump and squeeze said ball against said location; and

(1.4) applying at least one of heat and ultrasonic energy to said ball during step (1.3).

41. The computer readable product of claim 39 wherein said computer readable instructions for performing tasks (2) and (4) comprise computer readable instructions for moving said capillary in a purely vertical direction.

42. The computer readable product of claim 41 wherein said computer readable instructions for performing task (5) comprises computer readable instructions for moving said capillary in a purely lateral direction.

43. The computer readable product of claim 39 wherein said bump will be used as a site for a stitch bond of a wire loop spanning between another location and said bump and wherein said first lateral direction in step (2) is in a direction toward said another location.

44. The computer readable product of claim 39 wherein said lateral component of said diagonal motion is precisely in opposite said first direction.

45. The computer readable product of claim 44 wherein said first lateral

distance is in a range between a diameter of said wire and a chamfer diameter of said capillary.

46. The computer readable product of claim 44 wherein a distance of said lateral component of said diagonal motion is in a range between a diameter of said wire and a chamfer diameter of said capillary.

47. The computer readable product of claim 44 wherein said first height is in a range between one half of a chamfer diameter of said capillary and said chamfer diameter of said capillary.

48. The computer readable product of claim 44 wherein said second height is in a range between said first height and said first height plus twice a diameter of said wire.

49. The computer readable product of claim 44 wherein said vertical component of said diagonal motion is in a range between said first height plus said second height and said first height plus said second height minus a diameter of said wire.

50. The computer readable product of claim 36 further comprising computer

executable instructions for:

- (8) forming a second ball bond at a location spaced from said bump;
- (9) forming a wire loop between said location of said second ball bond and a location of said bump; and
- (10) forming a stitch bond to terminate said wire loop, said stitch bond being formed on top of said bump.

51. The computer readable product of claim 39 further comprising computer executable instructions for:

- (8) forming a second ball bond at a location spaced from said bump;
- (9) forming a wire loop between said location of said second ball bond and a location of said bump; and
- (10) forming a stitch bond to terminate said wire loop, said stitch bond being formed on top of said bump.

52. The computer readable product of claim 51 wherein said computer executable instructions for performing task (10) comprises forming said stitch bond on said smooth surface of said bump.

53. The computer readable product of claim 52 wherein said location of said second ball bond is laterally spaced from said location of said bump in about the same

direction as said first lateral direction.

54. A bump for semiconductor electrical interconnection comprising:
a ball bond formed on a surface; and
a fold of wire formed on top of said ball bond.

55. The bump of claim 54 wherein said bump is formed with a wire bonding machine and said ball bond and said wire fold are formed of wire from said wire bonding machine.

56. The bump of claim 54 wherein said wire fold comprises a smooth, sloped top surface.

57. The bump of claim 56 wherein said wire fold comprises a first folded portion having a first end integral with and extending from a top of said ball bond in a first direction having a lateral component, said first folded portion further comprising a second end and a second folded portion extending from said second end of said first folded portion in a second direction generally opposite of said first direction.

58. The bump of claim 57 wherein said second folded portion comprises a first end extending from said second end of said first folded portion and a second end

at which said wire fold was severed from said wire bonding machine.

59. The bump of claim 58 wherein said first direction and said second direction are diagonal directions, each comprising a lateral component and a vertical component.

60. The bump of claim 59 wherein said smooth, sloped surface is formed in said second folded wire portion.

61. The bump of claim 60 wherein said smooth, sloped surface is formed by scraping the second wire fold portion with a capillary of the wire bonding machine during said formation of said bump.

62. The bump of claim 61 wherein said ball bond is formed by ball bonding with said wire on said surface using a capillary of said wire bonding machine, and said wire fold is formed by (a) raising said capillary a first height above said ball bond such that wire attached to said ball bond pays out of said capillary, (b) moving said capillary laterally a first lateral distance in a first direction, (c) raising said capillary further by a second height, (d) moving said capillary in a second direction, said second direction having a downward component and a lateral component, said lateral component being generally opposite of said first direction, wherein, during at least a portion of said

movement, said capillary pinches said wire between said bump and said capillary, and
(e) severing said wire from said bump.

63. The bump of claim 62 wherein said wire fold is formed by further applying at least one of heat and ultrasonic energy while moving said capillary in said second direction.

64. A wire loop for semiconductor electrical interconnection comprising:
the bump of claim 54;
a second ball bond formed at a location spaced from said bump;
a stitch bond formed on top of said bump; and
a wire loop having a first end integral with and extending from said second ball bond and a second end integral with and extending from said stitch bond.

65. The wire loop of claim 64 wherein said wire fold comprises a smooth, sloped top surface and said stitch bond is made on said smooth, sloped surface of said bump.

Abstract of the Disclosure

The present invention is a method and apparatus for forming a bump for semiconductor interconnect applications, such as reverse wire bonding or stud bumping for flip chip interconnections. The bump is formed by (1) ball bonding at the bump site, (2) raising the capillary a predetermined height after forming the ball bond with the wire paying out of the capillary tip, (3) moving the capillary laterally a predetermined distance, preferably in a direction toward the site of other end of the wire loop, if the bump is to be used as the platform for a stitch bond of a wire loop, (4) raising the capillary further, and (5) moving the capillary diagonally downwardly and in the opposite direction of the first lateral motion. The wire is then severed by raising the capillary, closing the clamps and raising the capillary again to snap the wire pigtail off at the bump.

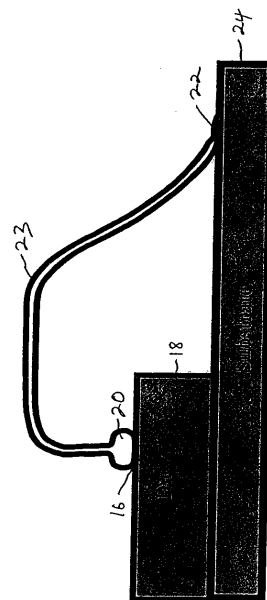
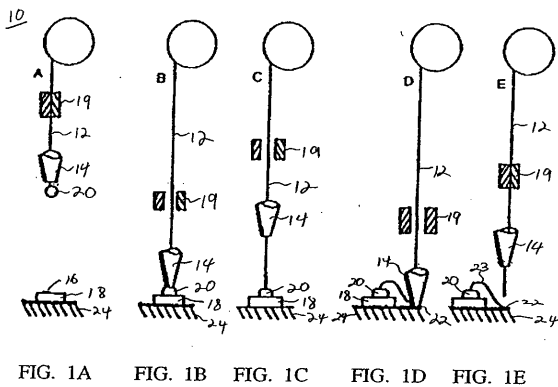


FIGURE 2

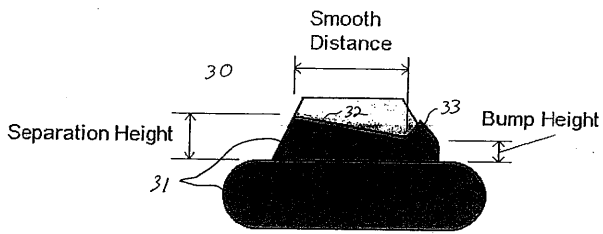


FIGURE 3

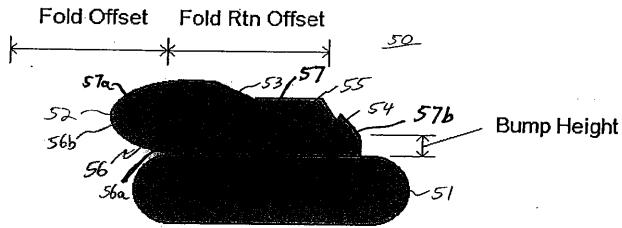


Figure 5

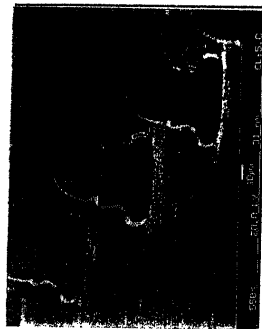
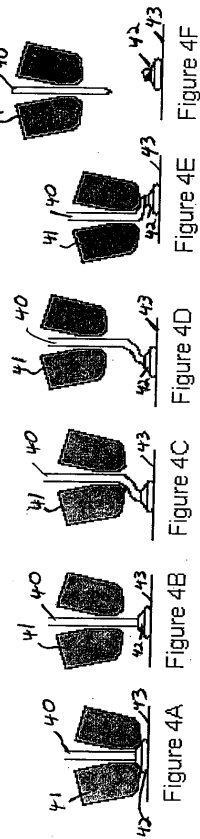


Figure 6A



Figure 7D



Figure 7C



Figure 7B

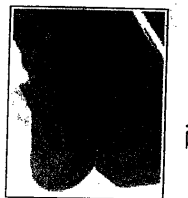


Figure 7A

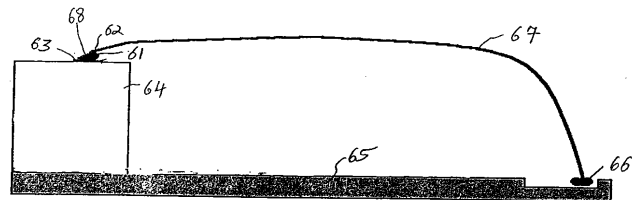


FIGURE 8



FIGURE 9 (PRIOR ART)



FIGURE 10



FIGURE 12A



FIGURE 12B



FIGURE 11A



FIGURE 11B