

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特許公報(B2)

(11) 特許番号

特許第4195886号
(P4195886)

(45) 発行日 平成20年12月17日(2008.12.17)

(24) 登録日 平成20年10月3日(2008.10.3)

(51) Int.Cl.

H01L 21/60 (2006.01)

F 1

H01L 21/92 603D
H01L 21/92 603B
H01L 21/60 311S

請求項の数 8 (全 14 頁)

(21) 出願番号 特願2005-85734 (P2005-85734)
 (22) 出願日 平成17年3月24日 (2005.3.24)
 (65) 公開番号 特開2005-294827 (P2005-294827A)
 (43) 公開日 平成17年10月20日 (2005.10.20)
 審査請求日 平成17年3月24日 (2005.3.24)
 (31) 優先権主張番号 10/815103
 (32) 優先日 平成16年3月31日 (2004.3.31)
 (33) 優先権主張国 米国(US)

前置審査

(73) 特許権者 390009531
 インターナショナル・ビジネス・マシーンズ・コーポレーション
 INTERNATIONAL BUSINESS MACHINES CORPORATION
 アメリカ合衆国10504 ニューヨーク
 州 アーモンク ニュー オーチャード
 ロード
 (74) 代理人 100086243
 弁理士 坂口 博
 (74) 代理人 100091568
 弁理士 市位 嘉宏
 (74) 代理人 100108501
 弁理士 上野 剛史

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】無鉛はんだを用い反応バリア層を有するフリップ・チップ用相互接続構造を形成するための方法

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項 1】

超小型電子デバイス・チップをパッケージにフリップ・チップ接続するのに適した相互接続構造を形成するための方法であって、

基板上に接着層を堆積し、前記接着層上にTi、TiN、Ta、TaN、Zr、ZrNおよびVから成る群から選択された材料のはんだ反応バリア層を堆積し、前記はんだバリア層上にはんだ濡れ性の層を堆積して、基板上にボール制限構成物を形成するステップと、

前記ボール制限構成物上にレジスト・パターンを形成するステップと、

前記レジストをエッチ・マスクとして用いることによって前記ボール制限構成物をエッチングするステップと、

残ったボール制限構成物から前記レジストを除去するステップと、

前記ボール制限構成物上に、主要成分としてのすずを有する無鉛はんだを堆積するステップと、

を有し、

摂氏150から250度で30から60分間、前記ボール制限構成物にアニーリングを行うステップを更に有することを特徴とする、方法。

【請求項 2】

前記接着層が、スパッタリング、めっき、または蒸着によって堆積されることを特徴とする、請求項1に記載の方法。

【請求項 3】

超小型電子デバイス・チップをチップ・キャリアにフリップ・チップ接続するのに適した相互接続構造を形成するための方法であって、

前記チップ・キャリアとして機能するウエハまたは基板上に接着層を堆積するステップと、

前記接着層上に、Ti、TiN、Ta、Ta_N、Zr、Zr_NおよびVから成る群から選択された材料のはんだ反応バリア層を堆積するステップと、

前記はんだ反応バリア層上にはんだ濡れ性の層を堆積するステップと、

前記はんだ濡れ性の層上に、主要成分としてのすずを有する無鉛はんだを堆積するステップと、

前記無鉛はんだをリフローして前記はんだ濡れ性の層が前記無鉛はんだ内に拡散するようにするステップと、

を有し、

摂氏150度～250度で30分～60分間アニーリングを行うステップを更に有することを特徴とする、方法。

【請求項 4】

前記はんだ濡れ性の層がCuを含み、前記Cuが前記無鉛はんだ内に拡散することを特徴とする、請求項3に記載の方法。

【請求項 5】

前記無鉛はんだが純粋なSnであり、リフローの間に二元Sn-Cu無鉛はんだが形成されることを特徴とする、請求項4に記載の方法。

【請求項 6】

前記無鉛はんだが二元Sn-Ag無鉛はんだであり、リフローの間に三元Sn-Ag-Cu無鉛はんだが形成されることを特徴とする、請求項4に記載の方法。

【請求項 7】

共晶はんだが形成されることを特徴とする、請求項5または6に記載の方法。

【請求項 8】

前記拡散によって、前記はんだ内の元素の数が少なくとも1元素だけ増えることを特徴とする、請求項3に記載の方法。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、超小型電子集積回路（IC）チップのパッケージへの相互接続に関し、更に特定すれば、C4（controlled collapse chip connection）と呼ばれることが多いエリア・アレイ・フリップ・チップ相互接続技術に関する。本発明は、更に、無鉛はんだ合金および環境に優しい製造プロセスを用いるため、環境面で許容できる相互接続方法に関する。更に、本発明は、超小型電子回路に接触するはんだにおいてアルファ粒子源を排除することによってオン・チップ回路におけるソフト・エラーの源を除去する相互接続方法に関する。

【背景技術】

【0002】

半導体チップのパッケージングにおいては、階層状の相互接続が必要である。チップと基板（またはチップ・キャリア）との間の相互接続レベルでは、3つの異なる相互接続技術が広く用いられている。すなわち、テープによる自動ボンディング（TAB：tape automated bonding）、ワイヤ・ボンディング、およびエリア・アレイ・フリップ・チップ相互接続である。

【0003】

はんだバンプのエリア・アレイ相互接続方法は、フリップ・チップはんだ接続またはC4と呼ばれることが多く、集積回路デバイス（IC）の表面を下に向けてチップ・キャリアにはんだ付けするものである。ワイヤ・ボンディングとは異なり、エリア・アレイはん

だバンプ構成では、できるだけ入力／出力（I／O）数を多くするため、チップの全表面をC4バンプによって覆うので、相互接続がチップ周辺部に限定されるワイヤ・ボンディングまたはTABによって可能であるよりも、IC技術の電気的機能性または信頼性に対する要求の高まりに応えることができる。

【0004】

更に具体的には、C4技術は、パターニングしたはんだ濡れ性の（solder-wettable）層構造の上に堆積したはんだバンプを用いる。この層構造は、ボール制限冶金（BLM：ball limiting metallurgy）として知られ、アンダー・バンプ冶金（UBM：under bump metallurgy）とも呼ばれる。UBMは、はんだによって濡らすことができるチップ上面上の端子金属パッドを画定し、横方向の流れをパッド領域に限定する。はんだバンプが、チップ上のパターニングUBMパッド上でリフローしてボールを形成した後、チップ・キャリア上のはんだ濡れ性の層の対応する実装範囲に、チップを接合する。C4技術がフリップ・チップ接合と呼ばれるようになったのは、キャリア上にチップ表面を下に向けて配置するからである。他の相互接続方法と比べて、C4技術は独特な利点を提供する。その利点には、（1）相互接続の距離が短く、信号応答の高速化およびインダクタンスの低下が可能となること、（2）電力および熱の分布が均一化すること、（3）同時スイッチング・ノイズが低減すること、および（4）最大限の合計（highest possible total）入力／出力数で設計の柔軟性が高まること、が含まれる。

【0005】

1960年代の半ば以降、金属マスクを介した蒸着によるPbSn C4相互接続の製造が開発され、改良されている。C4バンプおよびBLMパッドの双方を、パターニングした金属マスクを介して蒸着させて、信頼性の高い高密度の相互接続構造を形成する。これは、最も初期の低密度なわち入力／出力数の少ないICデバイスから、2000年代の高密度なわち入力／出力の多い製品までの拡張性があることが証明されている。しかしながら、蒸着方法では、更に大きいウエハ・サイズ、より高密度のアレイ、およびPbを用いない用途への拡張性は、ほぼ限界に達していると考えられる。

【0006】

蒸着に代わる方法は、選択的かつ効率的なプロセスである、C4の電気化学的な製造である。電気化学的なC4製造は、例えば、Youngによる米国特許番号第5,162,257号のような文献に報告されている。これは、引用により本願にも含まれるものとする。電気化学的に製造したC4の製造性および他の集積の問題については、Datta等により、J. electrochem. Soc.、142、3779（1995年）に記載されている。これは、引用により本願にも含まれるものとする。めっきおよびエッティング・プロセスを用い、更に、洗練されたツールを開発することによって、電気めっきしたはんだの組成および体積を高度に均一化し、一様な寸法のボール制限冶金（BLM）を形成し、BLMエッジ・プロファイルを制御することができる。

【特許文献1】米国特許第5,162,257号

【特許文献2】米国特許第5,244,143号

【特許文献3】米国特許第5,775,569号

【特許文献4】米国特許第6,003,757号

【特許文献5】米国特許第6,056,191号

【非特許文献1】Datta等による論文、J. electrochem. Soc.、142、3779（1995年）

【発明の開示】

【発明が解決しようとする課題】

【0007】

電気化学的プロセスは、蒸着を用いたC4技術よりも、大型のウエハおよび小さいC4寸法に適用することができる。フォトレジスト・マスクを介した蒸着によって、マスク開口内でUBMの上部にのみはんだを生成する。蒸着は、蒸着とは対照的に、すず含有量の多い無鉛合金および大型の300mmウエハに適用することができる。

10

20

30

40

50

【0008】

一般的なC4構造は、ボール制限冶金 (ball limiting metallurgy: 以降、「BLM」と呼ぶ) から始まる全ての要素から成る。多層BLM構造は、一般に、接着層、反応バリア層、および濡れ性の層から成り、デバイスおよび相互接続構造、チップ・キャリア間のはんだバンプ接合を容易にする。BLM構造において、異なる金属層を、はんだ合金および互いにに対して適合するように選択して、C4接合における厳しい電気的、機械的要求、および信頼性の要求を満足させるだけでなく、容易な製造を可能とする。

【0009】

多層BLM構造およびC4バンプを含む要素の詳細な説明は、以下のように要約される。

(1) ウエハの上面に堆積される第1の層は、BLMの接着層であり、下にある基板に対する接着を与える。また、この層は、拡散/反応バリア層として機能して、シリコン・ウエハおよびそのウエハ・プロセス後半部 (BEOL: back-end-of-line) の配線層がその上の相互接続構造と相互作用を起こすことを防止する。これは、薄い層であり、一般にポリマ、酸化物、または窒化物材料から成るウエハ・パッシベーション層の表面上に、通常はスパッタリングまたは蒸着によって堆積される。接着層の候補は、少数の例を挙げると、Cr、TiW、Ta、W、Ti、TiN、TaN、Zr等であり、厚さは約数百から数千オングストロームである。

(2) BLMの次の層は、反応バリア (reaction barrier) 層であり、溶融はんだによつてはんだ付けする (solderable) ことができるが、ゆっくり反応して (限定された反応)、全部が使い果たされることなく、多くのリフロー・サイクル (または再加工サイクル) を可能とする。この層は通常、厚さが約数千オングストロームから数ミクロンである。

(3) BLMの最後の層は、濡れ性の層であり、容易なはんだ濡れ性 (solder wettability) およびはんだとの高速反応を可能とする。典型的な例は銅であり、厚さは通常、2~300から数千オングストロームの範囲であり、スパッタリング、無電解または電解めつきにより堆積される。一部の特別なチップ接合用途では、Cuの厚さは数ミクロンの範囲である場合がある。

(4) BLM構造の上部に形成されるC4バンプについては、少数の例を挙げると、蒸着、めっき、ステンシル印刷、ペースト・スクリーニングおよびはんだ噴射、および溶融はんだ注入を含む多数の製造プロセスが開発されている。

(5) バンプの製造後、はんだバンプをリフローする。リフローは、通常、不活性または還元雰囲気 (H₂ / N₂) において、ベルト炉または真空炉またはオープン内で行われる。リフローの間、はんだと反応バリア層との間に、金属間化合物が形成する。これらの化合物は、信頼性の高いはんだ接合部のための良好な機械的完全性を与えるように機能する。

(6) ダイシング、分類および選択動作によって、ウエハをダイシングしてチップにする。高品質のチップ (仕様に合致するもの) を選択して、一列に並べ、適切なフラックスまたは無フラックス (fluxless) 接合を用いて、チップ・キャリアにフリップ接合する。

【0010】

従つて、本発明の1つの態様は、無鉛はんだと共に用いるのに適した、無鉛はんだを用いるフリップ・チップ接続のためのBLM構造を提供することである。

【0011】

本発明の別の目的は、コンピュータ・チップにおいてソフト・エラーの発生を抑えるフリップ・チップ電気的接続を提供することである。

【課題を解決するための手段】

【0012】

本発明は、C4接合における無鉛はんだのための、費用効率の高い、環境面で健全な、信頼性の高いBLMに焦点を当てる。また、本発明は、集積C4構造を製造するための有効なプロセス、すなわち、BLMの選択ならびに最終的なBLM構造を生成するために用いる堆積およびエッティング・プロセスを提供する。

【0013】

無鉛C4は通常、主要な成分として、典型的に90wt.%よりも多いSnを有し、更に1つ以上の合金化元素を有する。反応性の高いSnの性質のため、無鉛はんだは、BLMにおける端子金属および下にある配線層をSn含有量の多いはんだの攻撃から保護するために、より堅固な反応バリア層を必要とする。無鉛はんだとして最も可能性の高い候補は、2~3重量パーセントの銀、銅、亜鉛、ビスマス、またはアンチモンを有するすず合金である。

【0014】

鉛の有毒性のため、電子はんだから鉛を排除することが望ましい。また、無鉛はんだの使用により、はんだからのアルファ粒子の放出によって引き起こされる回路のソフト・エラーを抑える手段が提供される。

10

【0015】

米国特許番号第5,244,143号、第5,775,569号、第6,003,757号、および第6,056,191号に開示された、電解めっき、蒸着、ペースト・スクリーニング、または射出成形(injection molded)はんだプロセスによって、はんだを生成することができる。

【0016】

このため、本発明は、超小型電子デバイス・チップをチップ・キャリアにフリップ・チップ接続するのに適切な相互接続構造において、ウエハまたは基板上に堆積するための接着層と、Ti、TiN、Ta、TaN、Zr、ZrN、V、およびNiから成る群から選択された材料のはんだ反応バリア層と、はんだ濡れ性の層と、を有する3層ボール制限治金を対象とする。接着層は、Cr、TiW、TiN、TaN、Ti、Ta、Zr、およびZrNから成る群から選択された材料で形成することができる。はんだ濡れ性の層は、Cu、Pd、Co、Ni、Au、Pt、およびSnから成る群から選択された材料で形成することができる。相互接続構造は、第3の層にAuまたはSnが用いられていない場合、AuおよびSnから成る群から選択された材料で形成される任意選択的な第4の層を更に有することができる。1実施形態では、接着層がCrおよびTiWの1つから成り、反応バリアがTiから成り、はんだ濡れ性の層が、Cu、Co、Ni、Pd、およびPtの1つから成る。

20

【0017】

30

また、本発明は、超小型電子デバイス・チップをパッケージにフリップ・チップ接続するのに適した相互接続構造を対象とする。これは、接着および反応バリア層の双方として機能する接着/反応バリア層とはんだ濡れ性の層とを有する2層ボール制限構成物であって、接着/バリア層が超小型電子デバイスとはんだ濡れ性の層との間に配置されるためのものであり、はんだ濡れ性の層がすず含有無鉛はんだの成分と反応する金属で形成され、このため、はんだ濡れ性の層がはんだ付けの間に使い果たされ、接着/反応バリア層が、はんだ付けの間に無鉛はんだと接触して配置された後に残っている、2層ボール制限構成物と、はんだ濡れ性の層の上に選択的に配置された1つ以上の無鉛はんだボールであって、主要成分としてのすずと1つ以上の合金成分とを有する、無鉛はんだボールと、を有する。接着/反応バリア層は、Ti、TiN、TiW、Ta、TaN、Zr、ZrN、およびVから成る群から選択された材料で構成することができる。はんだ濡れ性の層は、Cu、Ni、Co、Pd、Pt、Au、およびSnから成る群から選択された材料で構成することができる。相互接続構造は、第2の層がAuまたはSnで形成されていない場合、AuまたはSnから構成された任意選択的な第3の層を更に有する。好ましくは、無鉛はんだボールが、アルファ粒子放出を実質的に防ぐ材料で構成される。合金成分は、Sn、Bi、Cu、Ag、Zn、およびSbから成る群から選択される。接着/反応バリア層がTiを含み、はんだ付け可能層(solderable layer)が、Cu、Co、Ni、Pd、およびPtの1つを含むことができる。

40

【0018】

また、本発明は、超小型電子デバイス・チップをパッケージにフリップ・チップ接続す

50

るのに適した相互接続構造を対象とする。これは、接着層と、接着層上の反応バリア層と、はんだ濡れ性の層とを有する3層ボール制限構成物 (three-layer ball-limiting composition) であって、接着/反応バリア層が超小型電子デバイスとはんだ濡れ性の層との間にあり、はんだ濡れ性の層が、すず含有無鉛はんだの成分と十分に反応する組成のものであり、反応バリア層が、はんだ接合プロセスにおいてはんだと接触して配置された後にはんだと実質的にほとんど反応しない、3層ボール制限構成物と、はんだ濡れ性の層層の上に選択的に配置された1つ以上の無鉛はんだボールであって、主要成分としてのすずと、Cu、Zn、Ag、Bi、およびSbから成る群から選択された1つ以上の合金成分とを有し、これによって、無鉛はんだボールが、アルファ粒子放出およびその結果として引き起こされるソフト論理エラー (soft logic error) を実質的に防ぐ、無鉛はんだボールと、を有する。はんだ濡れ性の層は、Cu、Ni、Co、Pd、PdNi、PdCo、NiCo、Au、Pt、およびSnから成る群から選択された材料で形成される。

【0019】

本発明は、更に、超小型電子デバイス・チップをパッケージにフリップ・チップ接続するのに適した相互接続構造を形成するための方法を対象とする。これは、基板上にボール制限構成物を形成するステップと、ボール制限構成物上にレジスト・パターンを形成するステップと、レジストをエッチ・マスクとして用いることによってボール制限構成物をエッチングするステップと、残ったボール制限構成物からレジストを除去するステップと、ボール制限構成物上にはんだを堆積するステップと、を有する。はんだは、実質的に無鉛とすることができます。ボール制限構成物は、基板上に接着層を堆積し、接着層上に反応バリア層を堆積し、バリア層上にはんだ濡れ性の層を堆積すること、によって形成することができます。反応バリア層が、Ti、TiN、Ta、TaN、Zr、ZnN、V、およびNiから成る群から選択される材料で構成することができる。接着層は、スパッタリング、めっき、または蒸着によって堆積することができ、約100から約4,000オングストロームの厚さを有することができる。反応バリア層は、スパッタリング、めっき、または蒸着によって堆積することができ、約100から約20,000オングストロームの厚さを有することができる。はんだ濡れ性の層は、スパッタリング、めっき、または蒸着によって堆積することができ、約100から約20,000オングストロームの厚さを有することができる。

【0020】

この方法は、はんだ濡れ性の層の上にAuまたはSnを含む層を堆積するステップを更に有することができる。はんだ濡れ性の層上に堆積した層は、ほぼ100からほぼ20,000オングストローム間の厚さを有し、スパッタリング、電解もしくは無電解めっき、または蒸着の1つによって堆積することができる。ボール制限構成物は、基板上に接着/反応バリア層を堆積し、バリア層上にはんだ濡れ性の層を堆積することによって形成することができます。この方法は、好ましくは、摂氏150から250度で30から60分間、前記ボール制限構成物にアニーリングを行うステップを更に有する。

【0021】

また、本発明は、超小型電子デバイス・チップをチップ・キャリアにフリップ・チップ接続するのに適した相互接続構造を形成するための方法を対象とする。これは、チップ・キャリアとして機能するウエハまたは基板上に接着層を堆積するステップと、接着層上にはんだ反応バリア層を堆積するステップと、反応バリア層上にはんだ濡れ性の層を堆積するステップと、はんだ濡れ性の層上に無鉛はんだを堆積するステップと、はんだをリフローしてはんだ濡れ性の層が無鉛はんだ内に拡散するようにするステップと、を有する。はんだ濡れ性の層はCuを含み、このCuがはんだ内に拡散することができる。無鉛はんだは実質的に純粋なSnとることができ、このため、リフローの間に二元 (binary) Sn-Cu無鉛はんだが形成される。無鉛はんだは実質的に二元Sn-Agとことができ、このため、リフローの間に三元 (ternary) Sn-Ag-Cu無鉛はんだが形成される。拡散によって、はんだ内の元素の数が少なくとも1元素だけ増える。共晶はんだ (eutectic solder) を形成することができる。好ましくは、この方法は、摂氏150度~250度

10

20

30

40

50

0度で30分～60分間アニーリングを行うステップを更に有する。

【0022】

また、本発明は、超小型電子デバイス・チップをチップ・キャリアにフリップ・チップ接続するのに適した相互接続構造を形成するための方法を対象とする。これは、チップ・キャリアとして機能するウエハまたは基板上に接着層を堆積するステップと、接着層上に、はんだ濡れ性のはんだ反応バリア層を堆積するステップと、はんだ濡れ性の層上に無鉛はんだを堆積するステップと、はんだをリフローしてはんだ濡れ性の層が無鉛はんだ内に拡散するようにするステップと、を有する。はんだ濡れ性の層はCuを含むことができ、このため、Cuがはんだ内に溶解する。無鉛はんだは実質的に純粋なSnとすることができ、このため、リフローの間に二元Sn-Cu無鉛はんだが形成される。無鉛はんだは実質的に純粋なSn-Agとすることができ、このため、リフローの間に三元Sn-Ag-Cu無鉛はんだが形成される。Cuの溶解によって、はんだ内の元素の数が少なくとも1元素だけ増える。共晶はんだを形成することができる。この方法は、摂氏150度～250度で30分～60分間アニーリングを行うステップを更に有することができる。

【0023】

本発明の好適な実施形態は、基板上のCr接着層と、めっきのためのCuシード層と、Cu層上のNi反応バリア層とを有する3層BLM構造である。これは、Ni層の上にCu層が形成される場合、4層構造とすることができます。上部Cu層は、無鉛はんだに溶解して二元Sn-Cu合金または三元Sn-Ag-Cu合金を形成することができる。追加の元素としてCuを取り込む前に、はんだ材料は元来純粋なSnおよびSn-Agとしてそれぞれめっきされている。

【0024】

本発明のこれらおよび他の態様、特徴、および利点は、本発明の以下の詳細な説明を更に考慮し、図面に関連付けて読むと、明らかとなろう。

【発明を実施するための最良の形態】

【0025】

本発明について記載される変形を、各々の特定の用途に望ましいいずれかの組み合わせで実現することができる。このため、特定の用途に対して特定の利点を有することができる、本明細書中に述べる特定の限定および/または実施形態の改良を、全ての用途に用いる必要はない。また、本発明の1つ以上の概念を含む方法、システム、および/または装置において、全ての限定を実施する必要がないことは認められよう。

【0026】

図1を参照すると、本発明に従って、超小型電子集積回路(IGC)チップをパッケージに接続するのに適した相互接続構造10が提供されている。具体的には、本発明は、多くの場合C4と呼ばれるエリア・アレイまたはフリップ・チップ技術に関する。パッシベーションを行った集積回路(IGC)デバイス12(例えばシリコン・ウエハ)上に、BLM(アンダー・バンプ冶金(under bump metallurgy:UBM)とも呼ばれる)11を堆積する。BLM11の第1の層は、接着/拡散バリア層14であり、Cr、W、Ti、Ta、Ti、V、Zr、およびそれらの合金(または化合物)から成る群から選択された金属または化合物とし、厚さは約100から4,000オングストロームとし、蒸着、スパッタリング、電気めっき、またはその他の既知の技法により堆積することができる。続けて、接着層の上に、Ti、Ta、Zr、W、V、Ni、およびそれらの合金(または化合物)から成る群から選択した金属または化合物のはんだ反応バリア層16を、例えばスパッタリング、めっき、または蒸着によって、厚さ約500から25,000オングストロームに堆積することができる。上層18は、はんだ付け可能層であり、Cu、Pd、Pt、Ni、Co、Au、Sn、およびそれらの合金の群から選択された金属から成り、例えばスパッタリング、めっき、または蒸着により、厚さ約500から10,000オングストロームに形成する。いくつかの特別な用途では、Cuを濡れ性の層として用いる場合、1～6ミクロンの範囲の厚いCu層を用いて、Pbを用いないはんだによって合金化元素を形成することができる。第3の層においてAuおよびSnがすでに用いられない場合、あ

る条件のもとで、層18の上に、金またはSnの薄い層等の任意選択的な第4の層38を堆積して、酸化または腐食に対する保護層として機能させることができる。記載した層構造では、選択した元素が前の層においてすでに用いられている場合、繰り返しを避けるため、次の層ではこれを用いない。次いで、図1に示すように、はんだ40を適用する。

【0027】

C4構造10は、無鉛はんだボール20によって完成させることができる。はんだボール20は、主要成分としてすずを含むと共に、Bi、Ag、Cu、Zn、Ni、Au、In、およびSbから選択された1つ以上の合金化元素を含む。

【0028】

実施例1 3層UMB

10

本発明によれば、好適な接着層14はCr、TiW、またはTiであり、好ましくはスパッタリングまたは蒸着のいずれかを行い、厚さは約100から3,000オングストロームであると好ましい。接着層14の厚さは、良好な接着および良好なバリア特性が維持される限り、大きく異なるものとすることも可能である。パターニングしたBLM構造11を形成する際の最終ステップとして、プランケットTiWを堆積し、続けてエッティングする場合は、膜の厚さを最小限に抑え、適切な性能と両立させなければならない。代替的な接着層は、厚さが約100から3,000オングストロームのCrまたはTiである。

【0029】

第2の層16は、はんだ反応バリア層であり、典型的に厚さは2~3000オングストロームから2ミクロンであり、スパッタリング、蒸着、またはメッキにより堆積する。すず含有量の多いPbフリーのはんだは、Pbを多く含むPbSnはんだ合金よりもはるかに反応性が高いため、Pbを多く含むはんだにおいて広く用いられるCuは、銅とすず含有量の多いはんだとの間の界面で厚いすず-銅金属間化合物を形成し、薄膜C4構造において2~3回のみのリフロー・サイクルで全て使い果たされるので、構造の完全性が損なわれることが示されている。このため、無鉛C4におけるBLMのはんだ反応バリア層としては、銅以外の金属を用いなければならない。

20

【0030】

本発明によれば、適切なはんだ反応バリア層は、チタン、窒化チタン、タンタル、窒化タンタル、ジルコニウム、窒化ジルコニウム、バナジウム、またはNiで形成可能であるが、Tiが好適な材料であることがわかっている。また、Tiがデバイスのパッシベーション層に良好に接着する場合、Tiを用いることによって、接着および反応バリア層を1つの層にまとめることができる。

30

【0031】

第3の層18は、はんだ濡れ性の層である。層18は、リフロー接合の間、溶融はんだに容易に濡らされ、全て溶融はんだに溶解する可能性がある。このため、反応バリア層との金属間化合物の形成によって、BLMパッドとの信頼性の高い冶金接合を形成することができる。濡れ性の層は、Cu、Pd、Pt、CO、Ni、Sn、Au、およびそれらの合金から成る群から選択された金属である。銅およびパラジウムは双方とも、すず含有量の多い合金と極めて迅速に反応し、適切な反応バリア層を提供しない。しかしながら、これらの金属は全て、はんだと反応し、良好に濡れるので、C4はんだを濡らして接合するための上層として機能する。

40

【0032】

追加の利点では、はんだのための合金化元素として、はんだに溶解するCuを用いることができる。例えば、Cuが純粋なSnはんだに溶解すると、これは二元Sn-Cu共晶合金を形成する。二元SnAg合金に溶解すると、これは三元共晶Sn-Ag-Cuはんだを形成する。Sn-CuおよびSn-Ag-Cuは双方とも、超小型電子アセンブリのためのPbフリーはんだの候補として有力である。はんだにおける追加の合金化元素としてCuを溶解させ取り込むと、特にめっきプロセスが単純化することが示されている。極めて複雑であるSn-Ag-Cuの三元合金のめっきを行う代わりに、もっと単純な二元SnAg合金のめっきを行い、第3の元素であるCuはBLMパッドから得ることができ

50

る。同じ手法を、極めて単純な純粋 Sn のめっきに適用し、続けて純粋な Sn を BL M パッドから得られる Cu と反応させて、単純な二元合金を形成する。これは、二元 Sn - Cu 合金のめっきよりもはるかに単純である。多成分のはんだ合金をめっきする間、溶液の化学的性質およびはんだ組成の精密な制御を維持することは極めて複雑であるが、この手法を用いてこの複雑さを回避することができる。プロセスのリフロー部分の間、Cu は本質的に液体のはんだ内に急速に拡散し、このため、はんだボールの組成は比較的均一であることが保証されることに留意すべきである。

【0033】

はんだ濡れ性の層がはんだボール内に拡散する様子を、本発明の第 1 の実施形態のための図 2、および本発明の第 2 の実施形態のための図 12 に示す。

10

【0034】

はんだ付け可能層は、他の BL M 層を堆積するために用いるものと同じ手順を用いて、スパッタリング、蒸着、またはめっきすることができる。続けて、図 1 に示す完成した構造に BL M 11 を形成するため、プランケット膜をパターニングしなければならない。

【0035】

実施例 2 4 層 UBM

この例では、第 1 の層は、Cr または TiW であると好ましい。第 2 の層は、Ti、Zr、V、またはそれらの合金（または化合物）であると好ましい。第 3 の層は、好ましくは、Cu、CO、Ni、Pd、Pt、またはそれらの合金である。第 4 の層は、Au または Sn とすることができます。

20

【0036】

実施例 3 単純な 2 層 UBM

この例では、第 1 の層は、好ましくは Ti であり、接着層および反応バリア層の双方として機能する。第 2 の層は、Cu、CO、Ni、Pd、Pt、Sn、またはそれらの合金から成る群から選択される。

【0037】

3 つの構造の全てにおいて、リフロー接合の間にはんだ合金と反応（reaction）させ、溶解（dissolution）し、取り込ん（incorporation）で、バンプ材料としてそれぞれ純粋 Sn または Sn - Ag のめっきを単に必要とすることにより Sn - Cu または Sn - Ag - Cu はんだ合金を形成するために、Cu が好適な層である。

30

【0038】

UBM 上で用いられるはんだ合金の溶融特性は、C4 用途の要件と一致していかなければならない。この制約により、好適な合金は、すず - 銀共晶（重量で 2.0 ~ 3.8 % の銀を含む）、すず - 銅、すず - ビスマス、すず - 銀 - 銅三元共晶、およびすず - アンチモン合金に近い組成を有するものに限定される。すず - 銀共晶は、摂氏 221 度の融点を有し、この用途に適している。すず含有量の多いすず - 銅合金は 227 度で溶融し、すず - ビスマス合金も適切な範囲で溶融する。しかしながら、Sn - Bi 相の図では、重量で約 20 % のビスマス濃度を有する合金が、リフローの際に、すず含有量の多い相およびすず - ビスマス共晶に分離することが示されている。この理由のため、好適な実施形態では、ビスマス含有量が重量で約 10 % 未満のすず - ビスマスはんだを採用する。また、アンチモンの含有量が重量で約 5 % 未満のすず - アンチモン合金も、C4 用途に適した融点範囲を有する。

40

【0039】

はんだのための好適な堆積方法は、電着（合金の直接的な電着または合金成分の順次堆積）、ステンシル印刷、または射出成形はんだプロセス、またはペースト・スクリーニングによるものである。

【0040】

図 3 から 6 は、図 1 の構造を生成する際のステップを示す。図 3 において、先に説明したように、ウエハまたは基板 12 の上に、層 14、16、および 18 を含む図 1 の BL M 11 が生成されている。適切なフォトレジスト・パターン 24 によって、ウエハの上に C

50

4パターンを画定し、その厚さは、少なくとも堆積するはんだの厚さと同じとする。

【0041】

図4を参照すると、レジスト開口内に無鉛はんだ26が堆積されている。その方法は、少數の例を挙げれば、めっき、ペースト・スクリーニング、ステンシル印刷、または溶融はんだ注入である。合金を直接めっきすることに代わる方法としては、はんだ成分を順次電解めっきし、その後のリフローの際に混合する。

【0042】

図5を参照すると、従来のレジスト剥離プロセスによって、レジスト24が除去されている。図6を参照すると、選択的な電気エッチング、またはウエット化学エッチング、ドライ・エッチング、またはそれらの技法の組み合わせによって、はんだ26の下の領域以外のBLM11の層14、16、および18が除去されている。また、反応性イオン・エッチング(RIE)またはイオン・ミリング(ion-milling)によってTiWまたはCr層14を除去することも可能である。

【0043】

次いで、適切な雰囲気内で、はんだをリフローして、図1に示すようなはんだボールを形成する。

【0044】

次いで、ウエハ12をダイシングし、分類し、選択して、適切なフラックスを用いて、または無フラックス接合により、高品質のチップをセラミックまたは有機チップ・キャリアに接合する。

【0045】

図7から10は、図1の構造を形成するための代替的なプロセスを示す。図7において、プランケットBLM11の上にフォトレジスト・パターン24が堆積されている。図8は、フォトレジスト24の下で被覆されていないBLM11の層をエッチングすることを示す。フォトレジスト・パターン24をエッチ・マスクとして用いて、BLMをパターンングする。図9では、パターンングしたBLM層からフォトレジスト・パターン24が剥離されている。図10では、ペースト・スクリーニング、溶融はんだ注入、ステンシル印刷、無電解および電解めっき等によって、BLM11上にはんだバンプが選択的に堆積されている。

【0046】

次いで、適切な雰囲気内で、はんだバンプ26をリフローする。

【0047】

次いで、ウエハをダイシングし、分類し、選択する。高品質のチップを選択し、適切なフラックスまたは無フラックス接合のいずれかにより、チップ・キャリアに接合する。

【0048】

図11は、本発明によるC4構造の第2の実施形態の断面図である。BLM30は、酸化物、窒化物、またはポリイミドのパッシベーション32を有する基板またはウエハ上に堆積するのに適した2層構造である。第1の層34は、パッシベーションを行ったウエハまたは基板の表面上に堆積され、Cr、Ti、Ta、Zr、Vまたはそれらの合金とすることができます。次の層36は、はんだ付け可能層として機能し、層34の上に堆積され、Cu、Pd、Pt、Co、Ni、Snの群から選択することができる。層36は、第1の層のためにすでに選択されたもの以外の材料としなければならない。層36の上に、金またはSnの薄い層等の任意選択的な第3の層38を堆積して、酸化保護層として機能させることができる。図1に示すように、次いではんだ40を適用する。

【0049】

先に注記したように、任意選択的な層38を適用せず、図4の上層が例えばCuである場合、はんだ濡れ性の層がはんだボール40に溶解する様子を図12に示す。

【0050】

図11に示す実施形態は、図3から6または図7から10に示す方法のいずれか1つを用いて形成することができる。

10

20

30

40

50

【0051】

実施例4 2層UBM

第1の層は、好ましくはTiまたはその合金であり、Tiが接着および反応バリア材料の双方として機能する。この層の上の第2の層は、Cu、CO、Ni、Pd、Sn、およびPtから成る群から選択される。

【0052】

実施例5 3層BLM構造

3層BLM構造は、基板上に堆積したCr接着層、Cr層上のNi反応バリア層、およびCr層上に堆積しためっき用のCuシード層を含む。Cu層上に、SnまたはSnAg合金の無鉛はんだを堆積する。リフローを行うと、上述のように、Cu層は、結果として生じるはんだボールに溶解して、はんだと合金を形成する。はんだは、好ましくは無鉛であり、Cuがはんだに溶解し元のはんだがそれぞれ純粋なSnおよび二元Sn-Agである場合に、二元Sn-Cu合金または三元Sn-Ag-Cu合金が形成される。

10

【0053】

実施例6

4層構造は、基板上に堆積するためのCr接着層、Cr層上のCu層、Cu層上のNi反応バリア層、Ni層の上部のCu層を含む。めっきした純粋Snまたは二元Sn-Agはんだのリフローの際、Cuの上層が無鉛はんだに溶解して、二元Sn-Cu合金または三元Sn-Ag-Cu合金をそれぞれ形成する。

【0054】

20

本発明のBLM冶金は、更に、BLMパターニングの後に30から60分間、摂氏150から250度でアニーリングを行うことによって、堅固さを向上させることができる。

【0055】

このように、本発明の現在好適な実施形態に適用した、本発明の基本的な新規の特徴を示し、説明し、指摘したが、本発明の精神から逸脱することなく、例示した方法および製品の形態および詳細において、更にそれらの動作において、様々な省略、置換、および変更を当業者によって行い得ることは理解されよう。更に、図面は、必ずしも一律の縮尺通りでないことは理解されよう。従って、本明細書に添付した特許請求の範囲およびその均等物によって示されるようにのみ限定されるよう意図するものである。

【0056】

30

前述の事項は、本発明のいっそう関連のある目的および実施形態の一部を略述したこと留意すべきである。本発明の概念は、多くの用途のために使用可能である。このため、特定の構成および方法について説明を行っているが、本発明の意図および概念は、他の構成および用途に対しても適切であり適用可能である。本発明の精神および範囲から逸脱することなく、開示した実施形態に対する他の変更を行い得ることは、当業者には明らかであろう。記載した実施形態は、本発明の更に顕著な特徴および用途の一部を例示するに過ぎないものとして解釈すべきである。開示した本発明を異なる方法で適用することによって、または、本発明を当業者に既知の方法で変形することによって、他の有用な結果を実現することができる。このため、実施形態は、限定としてでなく1例として提供したことは理解されよう。本発明の範囲は、特許請求の範囲によって画定される。

40

【図面の簡単な説明】

【0057】

【図1】本発明に従ったC4構造の第1の実施形態の断面図である。

【図2】はんだリフローの後の図1の実施形態の断面図である。

【図3】本発明に従ってC4構造を形成するための第1の方法によるステップを示す。

【図4】本発明に従ってC4構造を形成するための第1の方法によるステップを示す。

【図5】本発明に従ってC4構造を形成するための第1の方法によるステップを示す。

【図6】本発明に従ってC4構造を形成するための第1の方法によるステップを示す。

【図7】本発明に従ってC4構造を形成するための第2の方法によるステップを示す。

【図8】本発明に従ってC4構造を形成するための第2の方法によるステップを示す。

50

【図9】本発明に従ってC4構造を形成するための第2の方法によるステップを示す。

【図10】本発明に従ってC4構造を形成するための第2の方法によるステップを示す。

【図11】本発明に従ったC4構造の第2の実施形態の断面図である。

【図12】はんだリフローの後の図11の実施形態の断面図である。

【符号の説明】

【0058】

10：相互接続構造

11：ボール制限治金（B.L.M.）

12：集積回路（I.C.）デバイス

14：接着／拡散バリア層

16：はんだ反応バリア層

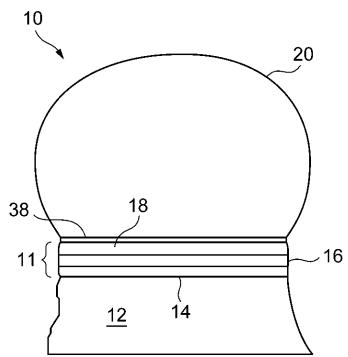
18：上層

20：無鉛はんだボール

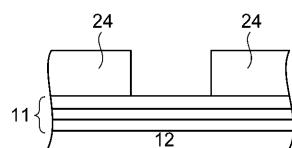
38：第4の層

10

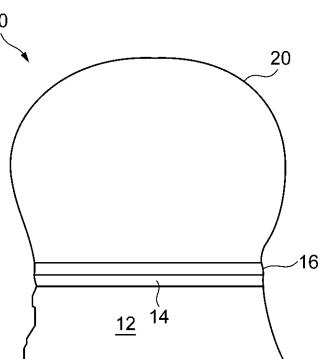
【図1】



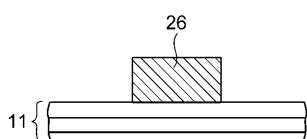
【図3】



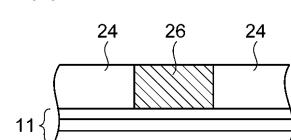
【図2】



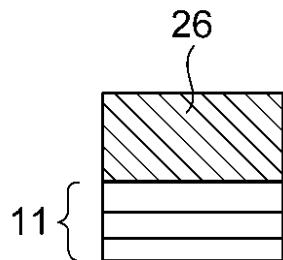
【図5】



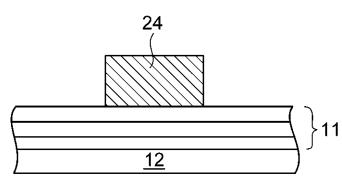
【図4】



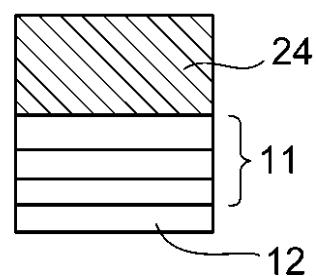
【図6】



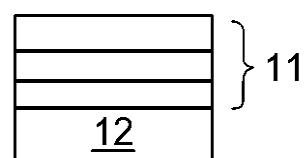
【図7】



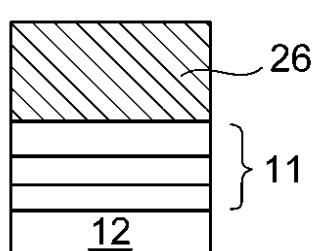
【図8】



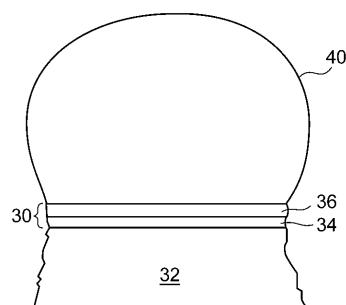
【図9】



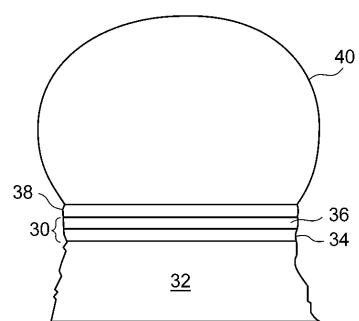
【図10】



【図12】



【図11】



フロントページの続き

(72)発明者 キース・イー・フォゲル
アメリカ合衆国12533 ニューヨーク州ホーブウエル・ジャンクション デュー・ドロップ・
レーン 7

(72)発明者 バララム・ゴサル
アメリカ合衆国12524 ニューヨーク州フィッシュキル フィッシュキル・グレン・ロード
ルート52 フィッシュキル・グレン・コンドミニアム 2ディ

(72)発明者 サン・ケイ・カン
アメリカ合衆国10514 ニューヨーク州カーバクア メイベリー・ロード 36

(72)発明者 スティーブン・キルバトリック
アメリカ合衆国20832 メリーランド州オルネイ ダートムア・コート 15

(72)発明者 ポール・エイ・ラウロ
アメリカ合衆国10509 ニューヨーク州ブルースター パイン・ロード 25

(72)発明者 ヘンリー・エイ・ナイIII
アメリカ合衆国06804 コネチカット州ブルックフィールド ウイスコニア・ロード 196

(72)発明者 ダ・ユアン・シー
アメリカ合衆国12603 ニューヨーク州ポキープシ バーバレン・ドライブ 16

(72)発明者 ドナ・エス・ズパンスキ・ニールセン
アメリカ合衆国10598 ニューヨーク州ヨークタウン・ハイツ ジェファーソン・コート 8
8

審査官 田中 永一

(56)参考文献 特開2000-058577 (JP, A)
特開平06-177134 (JP, A)
特開2000-260801 (JP, A)
特開2000-150574 (JP, A)
特開2001-102402 (JP, A)
特開2002-026049 (JP, A)
特開平10-041303 (JP, A)
特開2000-195885 (JP, A)
特開2002-280417 (JP, A)
特開昭62-263661 (JP, A)

(58)調査した分野(Int.Cl. , DB名)

H01L 21/60