

Title	半導体パッケージにおける異種金属間超音波接合とその接合部信頼性に関する研究
Author(s)	藤原, 伸一
Citation	大阪大学, 2013, 博士論文
Version Type	
URL	https://hdl.handle.net/11094/59920
rights	
Note	著者からインターネット公開の許諾が得られていないため、論文の要旨のみを公開しています。全文のご利用をご希望の場合は、 〈a href="https://www.library.osaka-u.ac.jp/thesis/#closed"〉 大阪大学の博士論文について 〈/a〉 をご参照ください。

Osaka University Knowledge Archive : OUKA

<https://ir.library.osaka-u.ac.jp/>

Osaka University

氏 名	藤 原 伸 一
博士の専攻分野の名称	博 士 (工学)
学 位 記 番 号	第 2 6 2 1 1 号
学 位 授 与 年 月 日	平成 25 年 3 月 25 日
学 位 授 与 の 要 件	学位規則第 4 条第 1 項該当 工学研究科マテリアル生産科学専攻
学 位 論 文 名	半導体パッケージにおける異種金属間超音波接合とその接合部信頼性に 関する研究
論 文 審 査 委 員	(主査) 教 授 廣瀬 明夫 (副査) 教 授 藤本 公三 教 授 高橋 康夫 教 授 上西 啓介

論 文 内 容 の 要 旨

微細接合を有する次世代半導体パッケージにおいて、二次実装時に接合部が再溶融しない製造プロセスを実現することは非常に有益である。これまでにも、微細接合部の信頼性について個々の接合部に関する研究は行われていたが、微細接合部を有するパッケージ全体を対象として、高信頼化を目指した例はほとんどみられなかった。そこで本研究では、パッケージ内部品の接合部を533Kリフローでも支障のない金属接合とし、低温で接合が可能な超音波接合によりパッケージ内部品を接合することで、微細接合部における接合信頼性を確保することを目的とした。超音波接合では、実用化されている金属の組み合わせが非常に限られていたこと、接合材の組み合わせが異なると接合信頼性の保証が非常に難しいことが大きな課題であった。

本論文では、半導体パッケージの超音波接合部材として考えられる異種金属の接合性と、接合部の長期信頼性に関して接合界面に形成される化合物の影響に着目し、①接合時に化合物が生成する系 ②接合時には化合物が形成されないが使用環境中に化合物が生成する系 ③化合物が生成しない全率固溶系 に分類し、半導体パッケージ内の接合への適用が考えられる金属の組合せについて、それぞれの界面構造の微視的な観察を行い、初期接合後の界面構造と信頼性試験後の界面構造から接合信頼性について研究を行った。

本論文は全 7 章で構成されており、先ず第 1 章においては本研究の背景と目的について述べた。

第 2 章において、超音波接合の工業的活用例と、フリップチップ部、ワイヤボンディング部、パワーモジュールの配線接合部における超音波接合の適用と課題についてまとめた。

次に第 3 章において、接合時に化合物を形成する系としてAu/Al接合を取り上げ、微細接合の際の信頼性向上を目的にAu中にPdを微量添加したAu合金バンプを選択し、Au合金バンプ/Al電極の超音波接合界面の挙動を、ナノレベルの観察と分析により明らかにした。また、初期接合状態および市場環境を想定した温度サイクル試験後の接合状態を同様に観察および分析し、Al電極厚の適正化とPd添加による接合信頼性向上効果を明らかにした。

次に第 4 章においては、接合時には化合物が形成されないが使用環境中に生成する系としてCu/Sn接合に着目した。Auワイヤボンディングの代替技術として注目されているCuワイヤボンディングの超音波接合信頼性について、接合部の応力緩和を目的として軟らかい金属であるSnを介在させる新たな接合の検討を行った。ここでは、Cu板上へリフローSnめっきにより予めCu-Sn化合物を形成し、そのSnめっき上からCuワイヤボンディングすることで、初期状態で応力緩和機構を有する接合を達成できることをナノスケールの観察と分析により明らかにし、その接合機構について考察した。

さらに第 5 章では、化合物が生成しない全率固溶系としてCu/Ni接合について検討した。CuとNiは全率固溶系の組合せであるため、初期接合が確保できれば接合信頼性低下の原因となりうる接合界面の金属間化合物の形成もなく、信頼性を保証しやすい接合系として非常に有益である。まず荷重や保持時間、超音波振幅をパラメータとしてNiとCuの適正接合条件を明確にし、次に初期接合後および473K高温保持試験後の接合強度と接合界面変化について、引張せん断試験と電界放射型電子顕微鏡によるナノスケール観察により評価し、接合界面には拡散相が存在するが、接合性は確保できることを明らかにした。

以上の研究によって得られた超音波接合に関する成果を元にした各種製品への適用状況や本研究成果の将来製品へ展開について、第 6 章にまとめた。最後に第 7 章により、本研究・開発により得られた知見から、微細接合部における接合信頼性を確保できる半導体パッケージに関する総括を行った。

論 文 審 査 の 結 果 の 要 旨

本論文では、微細接合部を有する次世代半導体パッケージに関して、パッケージ内部接合への適用が考えられる金属の組合せを選択し、これらの金属を超音波接合で接合した場合の異種金属接合性と、接合部の長期信頼性についてまとめている。超音波接合界面に形成される化合物が信頼性に及ぼす影響に着目し、①接合時に化合物が生成する系 ②接合時には化合物が形成されないが使用環境中に化合物が生成する系 ③化合物が生成しない全率固溶系 に関して界面構造のナノレベル観察・分析を行い、初期接合後の界面構造と信頼性試験後の界面構造から各々の系において接合信頼性が確保できることを明確にしている。得られた知見の詳細は以下の通りである。

① 接合時に化合物が形成する接合 -Au/Al 超音波接合-

微細ピッチ化において接合信頼性に課題があるフリップチップボンディングをターゲットとし、Auバンプの代替として、Imass%のPdを添加したAu合金バンプとAlパッドの接合性、および信頼性について評価している。その結果、AlパッドとAu合金バンプの超音波接合では、初期接合性と長期信頼性を考慮した適正Al厚が0.8 μ m~1.0 μ mであることを明確にしている。また、接合部近傍に形成される化合物層についてSEM、TEMを用いたナノレベルの観察を行ない、初期リフロー後のバンプ/チップ界面には3 μ m程度のAu-Al反応層が形成されており、その相構成は、チップ側から、Al/AuAl/Au₂Al/Au₃Al₂とAu₄Al中間組成の層/Au₅Al₃-Pd/Auであること、また温度サイクル試験後のチップ/Auバンプ界面にはAlの残存は見られず、その相構成はチップ側から、Au₃Al₂とAu₄Al中間組成の層/Au₅Al₃-Pd/Auとなっており、Au₃Al₂とAu₄Al中間組成の相が今回の系における最終形成相であることを明らかにしている。さらに、PdがAu₅Al₃-Pdに濃縮することでAlとAuの相互拡散速度を低下させ、反応層の成長を抑制することで接合部の信頼性を向上できることも明確にしている。これらより、微細ピッチ化においてもAu合金バンプの超音波接合で信頼性を向上できることを提示している。

② 使用環境で化合物が形成する接合 -Cu/Sn 超音波接合-

接合時には化合物が形成されないが使用環境中に生成する系としてCu/Snに着目し、ワイヤ径微細化によるワイヤ強度低減が課題であるワイヤボンディングに関して評価している。Cuワイヤボンディングでは、剛性が高いため製造工程中に接合部破断が発生する危険性がある。接合部の応力緩和を目的として界面にSnめっきを施したCu板上へのCuワイヤボンディング性について、ピール試験による接合強度試験やSEM、TEMによる接合界面の詳細分析を行っている。まず、接合が困難といわれるSnとCuの超音波接合条件の適正条件を見出し、接合が可能であることを明らかにしている。さらに、接合界面のナノレベルの観察・解析から、初期接合界面では部分的にSnが残存しており、Snを介在して接合している箇所とCuワイヤとCu-Sn化合物が直接接合されている箇所が混在していること、CuワイヤとCu-Sn化合物の接合部では接合界面に酸化膜層はみられず、TEM格子像よりCuとCu₃Snが直接接合した金属接合であること、Snが残存した箇所ではCuワイヤとSnがSn酸化膜を介して接合しており、CuワイヤとSn酸化膜界面には約3nmの結晶方位が不明瞭な接合領域が存在することを示している。また長期信頼性に関しては、383K、398Kで保持すると、界面に残存しているSnとCuの反応が進行し、Snが完全に化合物化することによりピール強さは初期のおよそ2.0倍程度に上昇することから、接合初期ではSnが残存した応力緩和性のある接合部が、高温保持後にはAu/Au接合を上回る

強固な接合部が得られることを明確にしている。これより、応力緩和層を有した Cu ワイヤボンディングが可能であることを初めて明らかにし、本成果を用いることで、ワイヤを微細化した際の接合信頼性を向上することができる。

③ 化合物を形成しない全率固溶系の接合 -Cu/Ni 超音波接合-

全率固溶系の組合せである Cu と Ni を接合材として選定し、荷重や保持時間、超音波振幅をパラメータとした初期接合性を評価すると共に、初期接合後および高温放置試験後の接合強度変化について評価・考察を行っている。まずタグチメソッドを用いて最適接合条件（荷重、超音波印加時間、振幅）を導出している。さらに Cu/Ni 接合界面のナノレベルの観察により、接合部界面近傍では Cu の結晶粒径が母材 12.2 μm に対して 2.9 μm と微細化すること、Cu 結晶粒微細化は、超音波加振に伴う塑性流動起因の再結晶や摩擦熱による動的再結晶に起因することを示している。高温保持試験および試験後の引張試験および組織解析結果から、473K 保持試験では Cu 結晶粒が成長するとともに、接合界面近傍で Cu/Ni のスピノーダル分解に起因する Ni 原子の偏在が生じるが、初期接合強度を維持しており高温保持後も高い信頼性を有していることを明らかにしている。これより、全率固溶系である Cu/Ni の超音波接合が可能であることを見出し、また高温保持後の信頼性についても保証できる可能性が高いことを見いだしている。

以上のように、本論文は異種金属間の超音波接合について、ナノレベルの観察および分析から接合界面構造と信頼性の関係を明らかにするものであり、学問的に価値が高い。さらに本技術の実用化にも取り組んでおり、今後の半導体パッケージ開発に大きく貢献すると評価できる。よって本論文は博士論文として価値あるものと認める。