

テープキャリアパッケージにおける Au/Sn 接合の研究

学位論文内容の要旨

Au は化学的安定性に優れていることから、回路基板用のパターンおよび部品リード等の表面保護膜として、また接合用材料としては Sn をベースにした低融点の軟ろう材（はんだ）が多く用いられている。従来、Au は高価であることからその使用が限定され、Au/Sn 系の接合に関しては十分な検討は行われていなかった。しかし、近年、携帯機器などの大量消費型の製品では小型・軽量化が急激に進展し、微細・高密度かつ高信頼度を有する接合技術が必要になり、Au は再び脚光をあびるようになってきている。本論文では、このような背景から、高密度実装に適する LSI パッケージである TCP(Tape Carrier Package) における Au/Sn 接合の機構を解明するとともにその工学的な応用研究を行った。

本論文は、6 章から構成されている。以下、各章について概要を述べる。

第 1 章では、実装技術とそれに用いられる接合技術の流れを概観し、接合が微細・高密度化すると同時に多様化してきていることを述べた。その中で、Au/Sn 接合は軍や宇宙用などの一部の高価格製品から、一般用途へと広がりを見せたが、接合のメカニズムの把握が十分でなく、信頼性の確保に懸念があることを指摘している。また、TCP の構成を説明し、LSI の電極とリードの接合は、低コスト化を目的にして、Au/Au 接合から Au/Sn 接合へ変化したことを示し、本研究の背景と目的を述べた。

第 2 章では、TCP の開発の基本になるインナーリードボンディング技術について述べた。ここでは、Au バンプに接合するリードのめっきとして、Sn と Sn-Pb を用いた場合の接合条件（温度、時間、圧力）を、めっき厚さをパラメータにして検討している。その結果、接合不良は①接合不足、②Au バンプ食われ、および、③ろう材のリード流れ不良、が主な原因であり、①は温度不足、②と③はめっき厚さが厚い場合に発生しやすいことを指摘し、発生のメカニズムを明らかにするとともに Sn めっきおよび Sn-Pb めっきに対する最適接合条件を明らかにした。

第 3 章では、本研究の応用例として、多ピン（208 ピン）TCP の製品化について検討した。まず、製品用の LSI を用いて接合すると、電極下部の Si から剥離する不良が発生し、この不良の主要な原因は、接合時の熱衝撃応力によることを見いだし、接合温度に上限を明らかにした。また、薄型でかつ非対称性

の構造を有することから、製品化の際に、パッケージのそりが問題となった。本研究では熱粘弾性の多層梁での解析結果をもとにしてそりを予め予測し、その発生を抑制することに成功した。さらに、パッケージの信頼性で問題となる熱疲労寿命についても加速試験と応力解析を用いて検討した。その結果、保護用のコーティング樹脂の影響が支配的な因子であることを明らかにし、樹脂の熱膨張係数を低下させることで十分な寿命が得られることを提案した。以上の対策により、LCD (Liquid Crystal Display) 用の208ピンのTCPの製品化に成功している。

第4章では、開発したTCPを実際の製品に適用するために必要な接合技術について検討した。代表的な実装の工法であるはんだ付けに対しては、①はんだに対するリードのぬれ性と②接合強度の確保が必要である。①については、TCPの製造工程と今後の保管を考慮して、めっき皮膜の熱的な安定性を、ぬれ性を基準にして検討した。その結果、SnやSn-Pbは表面酸化およびめっきと下地金属との拡散がぬれ性を劣化させることを見だし、安定性は、 $Au > Sn-Pb > Sn$ の順序であることを明らかにした。また、ぬれの劣化速度を定義することによって、劣化速度はアレニウス型の関係で整理できることを示した。これらの結果から、各めっきの熱的な安定性に対する実験式を提案し、めっき厚さを設計可能にした。強度に対するAu含有量、接合層の厚さ、パターン幅等の影響を検討した。その結果、Au含有量を3mass%以下にすることが効果的であることを提案した。また、接合厚さは20 μ m以上、パターン幅はリードの2倍以上が適正である。これらの結果を基礎にして、4Mb-DRAM (Random Access Memory) をTCPとしてパッケージングし、4層積み重ねて4倍のメモリ容量とした積層パッケージ、さらにこの積層パッケージを基板上に実装したメモリモジュールを製作した。

第5章では、アウターリード接合のもう一つ的方式である加圧・加熱接合方式について、Au/Sn接合(一部Au/Agも検討)を調べた。その結果、接合メカニズムは、インナーリードボンディングと同様であることを示し、めっき厚さを含む適正な条件を決定した。また、薄いめっき同士を用いた接合であることから、リードの構成元素であるCuが合金層中に拡散し、接合強度の向上に寄与している可能性が高いことも明らかにした。強度は界面に形成される合金層(化合物を含む)の厚さで制御できることを明らかにし、接合設計の指針を提案することができた。これら基礎的研究を基礎に、TCPを通常のパッケージのリードと接合し、全体を樹脂で封止した多ピンパッケージ製品を開発した。

第6章では、本論文で得られた結果を総括した。

学位論文審査の要旨

主 査 教 授 成 田 敏 夫
副 査 教 授 工 藤 昌 行
副 査 教 授 高 橋 英 明
副 査 助 教 授 佐 々 木 健

学 位 論 文 題 名

テープキャリアパッケージにおける Au/Sn 接合の研究

近年、携帯機器などの小型・軽量化が急激に進み、微細・高密度かつ信頼性に優れた接合法の開発が望まれている。従来の低融点軟ろう材（はんだ）による接合では信頼性の点で満足できない状況に至っており、高価ではあるが、信頼性に優れた Au 系ろう材による接合が注目されている。しかし、Au/Sn 系の接合については不明な点が多く残されており、接合条件の確立と各種携帯機器への実用化技術の開発が待たれている状況にある。

本論文では、高密度実装の LSI パッケージである TCP(Tape Carrier Package)を対象に、Au/Sn 接合を基礎的に研究し、その機構を解明するとともに実用化を目的に行ったもので、その研究成果は以下のように要約される。

実装技術とそれに用いられる接合技術は微細・高密度化すると同時に多様化し、近年、信頼性に優れた Au/Sn 接合は軍や宇宙用などの一部の高価格製品から一般用途へと広がりを見せてきたが、接合のメカニズムの把握が十分でなく、信頼性の確保に懸念があることを述べている。また、TCP の構成を説明し、LSI の電極とリードの接合は低コスト化を目的にして、Au/Au 接合から Au/Sn 接合へ変わってきていることを示し、本研究の目的と意義を明らかにしている。

TCP 開発の基本になるインナーリードボンディング技術について、Au バンプに接合するリードめっきとして、Sn と Sn-Pb を用いた場合の接合条件（温度、時間、圧力）を、めっき厚さをパラメータにして検討した。その結果、主要な接合不良として、①接合力不足、②Au バンプ食われ、および③ろう材のリード流れ不良、があることを明らかにし、①は温度条件、②と③はめっき厚さが厚い場合に発生しやすいことを明らかにした。その発生のメカニズムから、Sn めっきおよび Sn-Pb めっきに対する最適ボンディン

グ条件を提案した。

本研究の基礎的成果を多ピン（208ピン）TCPへ応用する実用化研究を行った。その結果、製品用のLSIを用いて接合すると、電極下部のSiをえぐって剥離する不良が発生すること、この不良の主要な原因は接合時の熱衝撃応力によることを明らかにしている。この解決法として、接合温度に上限を設けることを提案している。また、薄型でかつ非対称構造であることから、製品化した場合のパッケージのそりが懸念されたが、熱粘弾性の多層梁での解析結果をもとにしてそりを予め予測し、特に問題がないことを証明している。さらに、パッケージとしての信頼性で問題となる熱疲労寿命を加速試験と応力解析を用いて解析した結果、保護用のコーティング樹脂の影響が支配的な因子であることを明らかにしている。これは、樹脂の熱膨張係数を小さくすることで十分な寿命が得られることを示した。以上の対策により、LCD（Liquid Crystal Display）用の208ピンのTCPを製品化している。

実装工法としてのはんだ付けには、①はんだに対するリードのぬれ性の確保と②接合強度の確保が要求される。①については、TCPの製造工程とその後の保管を考慮して、めっき皮膜の熱的な安定性をぬれ性を基準にして検討し、Au/Sn接合は良好な安定性を示すことを明らかにしている。また、ぬれの劣化速度はアレニウスの関係で整理できることを示し、各めっきの安定性に対する実験式を提案するとともに、最適めっき厚さを提案した。強度に対するAu含有量の影響と接合層の厚さやパターン幅等の影響を調べ、Au含有量を3mass%以下に設計することを提案している。

アウターリードの加圧・加熱接合にAu/Sn接合（一部Au/Agも検討）を応用した。その結果、接合メカニズムはインナーリードボンディングと同様であることを示し、めっき厚さを含む適正な条件を提案している。また、リードの構成金属であるCuが合金層中に拡散し、接合強度の向上に寄与している可能性が高いこと、強度は界面に形成される合金層の厚さで制御できることを明らかにしている。

これらの成果を基礎に、4Mb-DRAM（Random Access Memory）をTCPとしてパッケージングし、4層に積み重ねて4倍のメモリ容量とした積層パッケージを検討し、この積層パッケージを基板上に実装したメモリモジュールの製作に成功している。

これをようするに、著者はAu/Sn接合の機構を解明し、テープキャリアパッケージに応用した結果、信頼性に優れた高密度実装を可能にしたものであり、接合工学、材料工学、実装技術に対する貢献が大きなものがある。

よって著者は、北海道大学博士（工学）の学位を授与される資格あるものと認める。