

氏 名	佐藤 武彦
授与学位	博士(工学)
学位授与年月日	平成11年3月25日
学位授与の根拠法規	学位規則第4状第1項
研究科、専攻の名称	東北大学大学院工学研究科(博士課程)材料物性学専攻
学位論文題目	エレクトロニクス用接合方式の実用化に関する研究
指導教官	東北大学教授 石田 清仁 東北大学教授 板垣 乙未生 東北大学教授 粉川 博之

論文内容要旨

今日のエレクトロニクス社会は、LSI (Large Scale Integrated Circuit)などの半導体技術によってもたらされていると言っても過言ではない。人々のニーズがLSIの中に機能として盛り込まれ、それが電子機器として提供される。機器の形をとるとき、LSIの機能を最大限に発揮させるために欠くことの出来ないのが実装技術である。そして、そこにはさまざまな接合技術が活用されている。

コンピュータの分野では、LSIの能力以上のシステム性能を要求する結果、多くのLSIをつなげることとなり、そこに実装技術/接合技術の必要性、重要性が出てくる。

本研究では、大型コンピュータ、パーソナルコンピュータなど高度情報化時代を支えるエレクトロニクス基幹製品の高集積・高密度実装の重要性に鑑み、その主要技術である半導体素子の回路基板への実装、および大型基板への実装に集約される接合技術に関連して、3つのエレクトロニクス用接合方式の実用化に関する研究を行った。

- (1) Auめっき接点に代わるコネクタ用の低価格な新接点材料の開発と実用化
- (2) ばね構造に代わる接合方式および接合材料の開発と実用化
- (3) ベアチップLSIの安価な搭載方式の開発と実用化

上記3つの研究においては、それぞれ新しい接合方式、あるいは、接合用新材料を提案した。そして、それぞれの接合方式における接合メカニズムを明らかにするとともに、最適な構成材料、および接合の基本的信頼性を明らかにして、実用化フェーズの検討につなげることを目的とした。以下に得られた成果を要約する。

第1章「緒言」では、大型コンピュータ、パーソナルコンピュータにおける実装階層の意義、それを支える接合技術のうち、コネクタ用接合技術、およびベアチップLSI搭載のための接合技術に関する技術課題について示した。

第2章「Auめっき接点に代わるコネクタ用の低価格な新接点材料の開発と実用化」では、

コネクタ用Auめっき接点材料に代わる低価格な新接点材料として、Pdめっきに着目した。まず、独自に開発した接触性能評価装置を用いて、接点の構成材料の摩擦・摩耗性能を評価して、Pdめっき膜が従来の接点材料であるAuめっき膜に比べて摩擦・摩耗性能が著しく劣ること確認し、摩擦性能の改善が新接点の研究開発課題であることを明らかにした。次に、接点を構成する材料の硬さの違いに着目して、Pdめっきの摩擦性能を改善するために薄膜金属潤滑理論に基づき「Auフラッシュめっき/Pdめっき/Ni下地めっき」からなる新しい材料構成の多層めっき膜接点を着想した。そして、軟らかく、かつ薄いAuめっき膜は、硬い下地のPdめっき膜と組み合わせると、薄膜金属潤滑理論から予想されたようにその潤滑効果を示すことを実証した。すなわち、硬い下地Pdめっき膜の上のAuめっき膜は、厚さが $0.1\mu\text{m}$ 付近のときに摩擦係数が最小になることがわかった。この効果は、より硬いPdめっき膜において、より顕著に観察された。この結果「Auフラッシュめっき/Pdめっき/Ni下地めっき」からなる新しい材料構成の多層めっき膜接点は、従来のAuめっき膜接点に比べて同等以上の摩擦・摩耗性能を示すことを明らかにすることができた。

また、やはり軟らかい接点用金属材料としてのSnめっき膜についても同様の薄膜潤滑効果を調べた。その結果、同様の効果は確認されたものの、摺動回数が進むにつれて接触抵抗が著しく増大する現象、つまり酸化しやすいSnの微摺動摩耗現象が確認された。

一方、軟らかく薄いAuめっき膜が優れた耐摩耗性も維持することを確認した。摩耗痕のX線マイクロアナライザによる分析調査を行い、そのメカニズムを明らかにした。すなわち、コネクタのプラグ側からジャック側へのAuめっき膜の転移現象により常に軟らかいAuが摺動界面にあって薄膜潤滑効果を果たしていると解釈される。

この多層めっき膜接点は、以上の摩擦性能と耐食性評価よりコネクタに最適な材料構成を決定した。

つぎに実際にPdめっき膜を形成するに際しての課題解決を図った。Niめっき膜表面においてPdめっきが剥離しやすいという問題を解決するための新しいストライクめっき方法として、Pd-Ni合金ストライクめっき方法を開発した。

以上により、「Auフラッシュめっき/Pdめっき/Ni下地めっき」からなる新しい材料構成の多層めっき膜接点の提案とその基本製造方法を確立した。

本技術は、1980年、富士通において世界に先駆けて実用化され、現在も引き続き製品に適用されていると同時に、その後、内外各メーカーにおいてもコネクタ用接点材料として製品適用されている。

第3章「ばね構造に代わる接合方式および接合材料の開発と実用化」では、ばね構造に代わって、より多くのI/O端子の接続を低挿抜力で可能とする接合方式として、低融点はんだの溶解・凝固による繰返しつけはずし方式、つまりソルダリングに着目して、新しい接合方式を提案した。この方式をモデファイして、大型コンピュータの温度階層実装に実用化した。

ソルダリングを用いた、新しい接合方式に適用するはんだの融点は、LSI素子の許容ジャンクション温度(358K)とマザーボードに用いられるSn-Pb共晶はんだの融点(456K)を考慮して、融点が390KのIn-48%Sn共晶合金(%はmass%を示す)を用いた。本

方式におけるはんだの溶融・凝固による接合 I/Oピンの繰り返しつけはずしに伴う、はんだ中への I/Oピン表面金属の溶け込みによって懸念される電氣的接合の安定性と材料の関係を明らかにした。すなわち、I/Oピンの表面処理には、Au膜が適しており、In-48%Snはんだと良好なぬれ性を示すことから、低い接合抵抗が実現できた。しかし、In-48%SnはんだにAuめっきした接合端子を繰り返し挿抜するとはんだ中へのAuの溶け込みによりはんだの融点が上昇した。また、融点付近でははんだは、Auの溶け込みにより生成するAuIn₂金属間化合物との半凝固状態となり、はんだ浴中に挿入される接合端子表面への濡れが不十分になる傾向を示した。このため、電氣的接触状態が不安定となる。

しかし、In-48%Snはんだに5%のAgを添加すると、Auの溶け込みは同様にあるものの、金属間化合物AuIn₂の生成は認められなくなり、融点上昇は抑制されることを見出した。

したがって、本接合方式においては、In-48%SnはんだにAg5%を添加するとともに、I/Oピンの表面処理には、Auの溶け込みが比較的少ない、Auフラッシュ/Pd/Niめっき膜が適しているとの結論を得た。この組み合わせのコネクタでは、加湿試験および振動試験においても優れた接合安定性を確認した。

本研究で明らかにされたIn-48%Sn合金を用いたはんだ接合技術は、大型コンピュータの温度階層実装における、LSIパッケージ側と多層セラミック回路基板側とをつなぐ接合技術として実用化された。

第4章「ベアチップLSIの安価な搭載方式の開発と実用化」では、ファインピッチ化と低コスト化の両立を目指し、ノートパソコンなどのコンシューマ製品分野向けベアチップ実装用の新接合方式を開発・実用化した。

接着剤によるAuバンプ接合方式に着目して、従来法の課題であるファインピッチ対応の限界を克服すべく「マイクロカプセルフィラーを用いた異方導電性接着剤による接合方式」を新たに提案した。すなわち、接着剤中に混在させる導電用フィラーとして1000-3000オングストロームの厚さの絶縁性樹脂で被覆した金属粒子を用いる。このマイクロカプセルフィラーを用いると、LSIチップの電極バンプとプリント基板側の電極パッド間で押しつぶされたフィラーが塑性変形して絶縁皮膜が破れ、内部の金属の新生面が電極と金属接触すると期待される。これと同時に、絶縁皮膜の存在により、隣り合うフィラー同士が仮に接しても絶縁が保たれると期待される。モデルチップにより、これらのことを検証した。つまり、本接合方式により、ベアチップ実装の当面の目標である $\sim 50\mu\text{m}$ ピッチのファインピッチ対応はもちろん、 $\sim 20\mu\text{m}$ ピッチ程度の可能性を確認した。また、新接合方式の接合安定性を把握した。接着剤の接合強度が大きいほど、接着剤層の厚さが薄いほど接合安定性が高い。熱膨張の違いが最も顕著であり、熱歪みが最も過酷なシリコンチップとガラスエポキシ基板との組み合わせで接合信頼性を確認した。

さらに、微摺動現象の観点から新接合方式では、接合界面はルーズなメカニカル接触接合であ

ることを検証した。

これらのことより、「マイクロカプセルフィラーを用いた異方導電性接着剤による接合方式」の最適構成材料を決定し、製造方法を確立して、1998年、磁気ディスク用ヘッド駆動回路基板へのベアチップ実装に実用化した。

第5章「結言」では、本研究のまとめを行っている。

以上、本論文の成果を総括すると、

- (1) コネクタとして、Pdめっき膜を接点材料として提案して実用化につなげた。
- (2) In-Sn系低融点はんだの溶融・凝固による繰り返し接合方式を提案して、大型コンピュータの高密度な温度階層実装につなげた。
- (3) マイクロカプセルフィラーを用いた異方導電性接着剤によるベアチップ接合方式を提案して、実用化するとともに、 $\sim 20\mu\text{m}$ ピッチ程度のファインピッチ接合の可能性も示した。

これらの研究開発を通して、以下の知見を得た。

- (1) 「Auフラッシュめっき/Pdめっき/Ni下地めっき」からなる多層めっき膜接点は、金属薄膜潤滑のメカニズムと軟らかいAuの転移現象により良好な摺動接触性能を示す。
- (2) マイクロカプセルフィラーを用いた異方導電性接着剤によるベアチップ接合方式においては、集中荷重点における金属同士の摺動による新生金属面の接触が必要である。

以上の研究開発・実用化によりエレクトロニクス化の進展に貢献することができた。

審査結果の要旨

大型コンピュータ、パーソナルコンピュータなど高度情報化時代を支えるエレクトロニクス基幹製品においては、LSI 素子の高集積・高密度実装の重要性が一層増している。本論文は、その主要技術である LSI 素子の回路基板への実装に集約される接合技術に関して、新しい接合方式を提案し、接合メカニズムを明らかにするとともに、構成材料の最適化、条件並びに接合の基本的信頼性を把握して、実用化につなげたものであり全編 5 章よりなる。

第 1 章は緒言であり、本研究の背景および目的を述べている。

第 2 章では、「コネクタ用の Au めっき接点に代わる低価格な新接点材料の開発と実用化」について検討している。新接点材料として Pd めっき膜に着目し、問題点である摩擦性能を改善するために、薄膜金属潤滑理論に基づき「Au フラッシュめっき/Pd めっき/Ni 下地めっき」からなる新しい材料構成の多層めっき膜接点を着想している。本理論から予想されるように、軟らかく、薄い Au めっき膜が硬い下地の Pd めっき膜と組み合わせることにより潤滑効果を示すことを実証し、この接点が、従来の Au めっき膜接点に比べて同等以上の摩擦・摩耗性能を示すことを明らかにしている。さらに、耐食性等の基本的信頼性の把握、Pd めっきの基本製造方法の確立等を行っている。これらの研究の成果として、本接点材料は、世界に先駆けて実用化され、現在も引き続き製品に適用されている。

第 3 章では、「ばね構造に代わる接合方式および接合材料の開発と実用化」について検討している。ばね構造に代わって、より多くの入力/出力端子を小さな力で挿抜できる接合方式として In-Sn 系の低融点はんだの利用を考究し、はんだの熔融・凝固させることによって端子を繰り返しつけはずしする新しい接合方式を提案している。さらに、ハンダの熔融・凝固特性に及ぼす Au、Ag 等の第 3 成分の影響を調べ、接合に適した In-Sn-Ag 系合金はんだを開発している。これらの研究の成果として、本方法は大型コンピュータの温度階層実装に実用化されている。

第 4 章では、「ベアチップ LSI の安価な搭載方式の開発と実用化」について検討している。ベアチップのファインピッチ化に対応するためには、従来の接着剤による Au バンプ接合方式の適用は限界であり、「マイクロカプセルフィラーを用いた異方導電性接着剤による接合方式」を新たに提案している。まず、本方法の接合メカニズム及び接合安定性を調べ、ベアチップ実装の当面の目標である $\sim 50\ \mu\text{m}$ ピッチのファインピッチ対応のみならず、 $\sim 20\ \mu\text{m}$ ピッチ程度の対応の可能性を確認している。ついで、最適構成材料の検索並びに、製造方法に関する研究を行い、磁気ディスク用ヘッド駆動回路基板へのベアチップ実装に実用化することに成功している。

第 5 章は結言であり、本研究のまとめを行っている。

以上、要するに本論文は、エレクトロニクス用の新接合方式を提案し、その接合メカニズムとそれに使う最適な材料構成を明らかにしたものであり、材料物性学の発展に寄与するところ少なくない。

よって、本論分は博士（工学）の学位論文として合格と認める。