

## 論文の内容の要旨

論文題目 可逆的インターコネクションのワイヤボンディングへの導入と  
チップサイズパッケージの開発

氏名 小野寺 正徳

接合と分離が自由に行えるような接手法は「可逆的インターコネクション」と呼ばれている。可逆的インターコネクションは工業製品の再資源化，リサイクル・リユース性を向上させるために接合界面で分離できるようにデザインした接合法であり，環境調和型技術の一手法と位置付けられている。可逆的インターコネクションの研究領域や応用分野は近年になって徐々に広がりつつあるが，実際にこの手法が実際の製品の製造に適用され，実用化されるまでには至っていないのが現状である。

昨今ではチップサイズパッケージ(CSP)と呼ばれる，チップサイズに限りなく近づけたLSIパッケージが開発されており，パッケージの小型・薄型化の流れに乗って，中継基板をパッケージ内部から省いたCSPがいくつか報告されている。例えばBCC(Bump Chip Carrier)と呼ばれるパッケージでは，製造工程中でインタポーザ基板をパッケージから省く手段としてエッチング溶解法を採り入れている。この技術は工程としては非常にシンプルであるが，エッチングのための薬液や装置が必要であり，排気や廃液の処理を考慮した工場の整備を必要とする。さらにエッチングにより発生する金属汚泥はリサイクルすることが困難

であるため、環境に与える負荷は必ずしも小さいとはいえない。

そこで本研究では、微細ピッチが実現可能な新しいインタポーザレス CSP 構造を提案し、インタポーザ基板をエッチング溶解でなく機械的な引き剥がしにより除去する工程を実現するために、ワイヤボンディングの分離技術の開発を行った。そして、この技術を CSP の製造工程に応用することを目的とした。

本論文は全 9 章で構成される。

第 1 章では緒論、第 2 章では研究方法について述べた。

第 3 章では、引き剥がし法を適用する CSP をエッチング溶解法により試作し、端子ピッチ 0.3mm 以下の微細ピッチ CSP 構造を提案した。ここでは Au ボールバンプを初めて LSI パッケージの外部実装端子として採用し、ボンディングワイヤの先端ボールとボールバンプを直接接続する技術を開発した結果、端子ピッチの微細化を実現することができた。この CSP 構造を具現化したことにより、基板の除去工程以外の工程が技術的に問題がなく、引き剥がし法の確立次第で CSP の製造が可能であることを示すことができた。

第 4 章、第 5 章では、CSP の製造に用いるテンポラリ基板を選定するために、Au ワイヤと接合する相手として Ag/Cu 合金基板と Cu 合金基板を取り上げ、ボンディング部における分離性を検討した。分離性の検討方法としてはワイヤの分離実験を取り入れ、チップを用いずに基板に対してワイヤボンディングを行ったのち、ボンディング面のみ片面モールド成型した試料を作製し、成型体を下にした状態で成型体を固定しながら基板を成型体の鉛直方向に反らせ、双方を完全に分離させることによって接合界面で分離できたか否かを調査した。第 4 章では Ag/Cu 合金基板の検討を行い、Ag/Cu 合金基板への接合では接合パラメータ、特に超音波出力と歪み量（ボンド荷重）をコントロールして周縁接合を意図的に作ることで、分離可能な接合が得られることが明らかとなった。Au ワイヤの分離歩留りは、ボールの歪み量が小さくなるほど、すなわち接触面積が小さくなるほど高くなるわけではなく、分離に適した歪み量の範囲が存在する可能性が示唆された。さらに Au ワイヤの分離歩留りは、上記の範囲の歪み量で、かつ接合エリアの周縁で接合された場合が最も分

離歩留りが高く、これらの接合状態は超音波出力が小さいほど得られやすいことが明らかとなった。さらにこの周縁接合では、接合界面で生成されるエアギャップ（非接合エリア）が実質的な接合面積の低減化を担っていることが確認された。第5章ではCu合金基板の検討を行い、Cu合金基板への接合ではAl電極へのワイヤボンディングで見られるような新生面の生成過程を伴わず、Cu酸化膜と直接接合していることが確認された。さらに、接合後にモールド成型したものに対して熱処理を行うことによって、ワイヤの分離性が向上することが明らかとなった。これは、接合界面のCu合金側で脆い反応層が成長したことに起因し、モールド樹脂中に含まれる難燃剤成分が脆い反応層の生成に寄与していた可能性が示唆された。以上の検討結果から、CSPの製造に使用する基板としてAg/Cu合金基板を選定するに至った。

第6章、第7章では、CSPの工程設計と基板の最適化を行う目的で、工程中でワイヤボンディング工程の前後に曝される熱工程の影響を検討した。第6章では、Agめっき/Cu合金基板とAuワイヤの接合対についてワイヤボンディング前の熱処理による分離性への影響を調べた。その結果、ワイヤボンディング前に熱処理を行うことによりワイヤの分離性は向上するが、逆に接合性は低下し、未着不良が発生しやすくなることがわかった。基板のCuがAgめっき中を拡散し、表面で $\text{Cu(OH)}_2$ や $\text{CuCl}_2$ などの結合状態を作りながらAgめっき表面で濃化することが、接合性が低下する原因であることが示された。Agめっき厚が薄いほどCuの濃化が顕著になり、熱処理時間が短くても接合性に影響を及ぼしやすくなることから、Agめっき厚を、検討したサイズの中で最も厚い $5\mu\text{m}$ とした。一方第7章では、ワイヤボンディング後の熱処理による分離性への影響を調べた。その結果、低い接合温度ではボールの変形量が抑えられ、Au-Ag化合物が形成される接合面積も必然的に小さくなるため分離性が高くなること、ワイヤボンディング後に熱処理を行うと固溶反応が進んで接合強度が増加するため、分離性が低下することなどが明らかとなった。これらの結果を踏まえて、接合温度をより低温で、かつ未着不良が発生しない423Kとし、分離工程をモールド成型直後、すなわち長い加熱環境に曝されるモールドキュア工程の直前に置くこととした。

第8章では、これまでの研究をもとにインタポーザを機械的に引き剥がして取り除くと

いう新しい手法を製造工程への導入し、端子ピッチ 0.15mm の微細ピッチ CSP を開発することができた。CSP の試作では、基板の引き剥がしにより露出したワイヤの先端ボールに対し、ワイヤバンピング法により Au ボールバンプを直接形成することが可能であることを確認し、LSI の電極パッドピッチレベルまで微細化が可能な新しい端子形成手法の確立に成功した。

第 9 章は総括である。

本論文の中で提案した環境負荷の小さい単純な機械的分離手法を製造工程に導入することにより、除去した材料のリサイクルがより容易となった。本研究で行った CSP の開発により、可逆的インターコネクションという環境負荷の小さい手法が LSI パッケージの製造工程に適用可能であることが初めて示されたといえる。