

部品内蔵基板パッケージにおける熱応力発生要因に関する研究

松浦, 政光

<https://hdl.handle.net/2324/7157363>

出版情報 : Kyushu University, 2023, 博士 (工学), 課程博士
バージョン :
権利関係 :

氏 名 : 松浦 政光

論 文 名 : 部品内蔵基板パッケージにおける熱応力発生要因に関する研究

区 分 : 甲

論 文 内 容 の 要 旨

近年、5G と呼ばれる第 5 世代移動通信システムが始まり、従来の通信方式である 4G より 10 倍の通信速度を可能とする高速なデータ通信が可能となりつつある。これに伴いあらゆるモノをインターネットに接続し相互的に情報のやり取りを行うモノのインターネット (Internet of Things: IoT) が世界的に多く議論され、IoT 社会のさらなる発展に期待が高まっている。IoT 社会の基幹となる各種センサーを有したウェアラブル端末や小型携帯端末の代表格であるスマートフォンは、携帯性の確保から端末自体の軽薄短小が求められる。一方でリアルタイム通信を行うため、長時間駆動も求められており、バッテリー容量を確保するため端末内に搭載される半導体パッケージを含む電子部品自体の小型、薄型、低消費電力化が要求される。半導体パッケージの薄型化や小型化を行うにあたり、複数の半導体チップや受動部品を一つの半導体パッケージ内に実装して一つのシステムとしての機能をもたせるシステム・イン・パッケージ (System-in-Package: SiP) が多く議論されている。その中でも半導体チップやインダクタなどの受動部品を基板に埋め込むことでパッケージの小型化を可能とする部品内蔵基板技術が将来技術として注目されている。

部品内蔵基板は構造上、内蔵チップが完全に基板材料によって覆われる。使用される基板材料は熱硬化型樹脂が主であり、部品内蔵基板の製造プロセスで加えられる熱によって、樹脂の硬化収縮やシリコンチップと基板材料の線膨張係数 (Coefficient of Thermal Expansion: CTE) の違いにより内蔵チップには残留応力が発生する。また半導体パッケージはさまざまな温度環境下で使用されることを想定する必要がある。例えば車載用デバイスでは最高で 150°C での動作保証する必要がある。環境温度の変化により、内蔵チップと基板材料との CTE の違いにより熱応力が発生することは容易に想像ができる。このような半導体パッケージ内で発生する残留応力や熱応力は、高精度基準電圧 IC や表面弾性波・バルク弾性波フィルタといった応力に敏感なデバイスに対して致命的な事象であり、部品内蔵基板技術適応の妨げとなっている。しかしながら部品内蔵基板において熱応力の発生要因に関しての調査報告例は見当たらない。本研究は、部品内蔵基板で発生する熱応力の発生要因を明らかにすることを目的として研究を行ったものである。この目的のために、中空構造を有する部品内蔵基板構造とその製造技術を新たに開発して調査を行った。

第一章では、半導体パッケージ小型化の歴史を総括するとともに、部品内蔵基板の構造、特長、必要性、技術的課題について議論し、本研究の目的を述べる。

第二章では、本研究で新たに開発した中空構造を有する部品内蔵基板の構造とその製造プロセスについて述べる。一般的な部品内蔵基板においては、チップは埋込樹脂に完全に覆われる。接触する面は、最も広く埋込樹脂と接触するチップの上下の二面と、その他のエリアであるチップの外周四面に大きく分けることができる。埋込樹脂の硬化収縮や CTE ミスマッチといった応力発生要因が内蔵チップの上下部分が支配的なのか、もしくはチップ外周が支配的なのかを切り分けるために、

本章では内蔵チップの上下に中空構造を形成する方法を開発した。また各種パーツのデザイン，詳細なプロセスフローとプロセス条件，使用した材料について述べる。開発した部品内蔵基板の断面観察を走査型電子顕微鏡にて行い，部品内蔵基板に内蔵されているチップの上下に中空構造が形成されていることを確認した。これにより埋込樹脂の硬化収縮や CTE ミスマッチといった影響をチップの最大接触エリアである内蔵チップの上下から切り離す構造を実現した。

第三章では開発した中空構造部品内蔵基板とピエゾ抵抗効果を使った応力センサーチップを用いて，部品内蔵基板を -60°C から 100°C の環境下におき，内蔵チップの表面に発生する熱応力の測定を行った。部品内蔵基板において内蔵チップと水平方向に位置する埋込樹脂，基板の大部分を占めるコアフレームとの CTE の違いにより，内蔵されたチップが引っ張られることにより熱応力が発生していることが明らかとなった。またチップファースト型キャビティタイプの部品内蔵基板において，内蔵チップの上下に存在する埋込樹脂は，コアフレームの熱膨張によるチップの拡張を抑制し，熱応力を低減していることが新たに示された。

第四章では第三章で得られた熱応力の集中箇所に関して検討を行った。 CO_2 レーザによる局所的なアブレーション技術を利用し，埋め込んだチップの外周に各種のスリット開口を形成することで，熱応力が集中する箇所の特定を行った。内蔵チップのコーナー部分では水平方向と垂直方向にコアフレームによって引っ張る力が働くため，最も応力が集中していることが明確になった。一方で，内蔵チップを銅配線のみで保持したサンプルにおいても 100°C の環境下において 400 MPa 程度の応力値を示し，銅配線も熱応力の発生要因となっていることが示された。

第五章では第四章で明らかとなった銅配線の影響をふまえ，銅配線のデザイン変更により内蔵チップ表面の熱応力がどのように変化するか検証を行った。具体的には内蔵チップに接続される銅配線の角度を変えることで，熱応力の変化を観察した。これにより，配線を傾けることでコアフレームから伝搬する引張力を緩和し，熱応力発生を低減できることが明らかとなった。さらには力学モデルを新たに導出し，銅配線が細くなることで応力緩和効果が高くなることを示した。

第六章では第一章から第五章で述べた研究成果を総括し，今後の展望について述べる。