

次世代実装対応めっき技術研究開発

久保田 弘¹、土岐 莊太郎²、佐々木 淳²、古屋 明彦²、杉村 正彦³、脇坂 康尋³、内田 大輔³、萩原 宗明⁴、筑間 光靖⁵、徳田 博⁵、平野 勝⁵、浅 富士夫⁵、栗林 幸一郎⁶、野田 智子⁷、神戸 秀夫⁸、溝口 弘明⁸、村上 洋二⁹、佐々木 守¹、福迫 武¹、本武 幸一¹

¹熊本大学、²凸版印刷(株)、³日本ゼオン(株)、⁴くまもとテクノ産業財団、⁵上村工業(株)、⁶緒方工業(株)、⁷熊本防錆(株)、⁸ソニーコンダクタ九州(株)、⁹(株)セイブ

1. はじめに

通信インフラの整備を背景に携帯電話、パソコン、PDA 等といったデジタル機器は、性能アップや小型化に対する一般消費者の要求の強まりに応じて、急速に発展し、我々日常生活へ浸透して来た。それに伴い半導体そのものの高速化は時代と共に着実に進化し現在ではギガヘルツで動作する半導体を搭載したパソコンが市場に出るまでになっている。しかし、ブロードバンド時代到来への期待に代表されるように、一般消費者のニーズの充足は、更に新たなニーズを生み、求められる技術は加速度的に高くなっている。その新たなニーズを充足させる技術的な壁は高く、従来技術の延長で解決する事は非常に困難であり、ドラスティックに技術の壁を解決できるシステムや材料、製造技術のパラダイムシフトが強く求められている。これに応えるべく、データ通信速度やアクティブデバイス(LSI)の性能は年々大幅に向上しているが、半導体間のデータの高速化は思っていたよりも進んでおらず、SiP(システムインパッケージ)半導体のパッケージ部分からそれらを接続するプリント配線板の部分での高速化が重要な課題となっている。

我々めっきグループではコストパフォーマンスに優れためっき技術を用いて、これらプリント配線板に係わる問題を解決すべく研究を行っている。

2. 高速化の動向と実装(Jisso)の現状

動画を含むコンテンツは消費者ニーズが高

く、大きなマーケット形成が予想されるが、コンテンツのストレスの無いダウンロード技術がネックとなる。ダウンロード時に感じるストレスは得られる情報の価値と時間に対する感受性により個人差があるが、2時間の映画のダウンロードに数秒～数十秒クラスであれば許容されると考えられる。例えば、4Mbpsの再生を行うデータ2時間分を10秒でダウンロードするためには2.8Gbpsの伝送技術が必要となる。通信速度の高速化はこれを実現すべく図1の様に推移してきており、既に、伝送速度は技術的な側面で、Gbpsのデータ伝送が現実の視野に入っている。Localな伝送においては全フッ素化ポリマー系を使用したドーパント型光ファイバーを用いて10Gbpsの伝送速度が報告されている¹⁾。

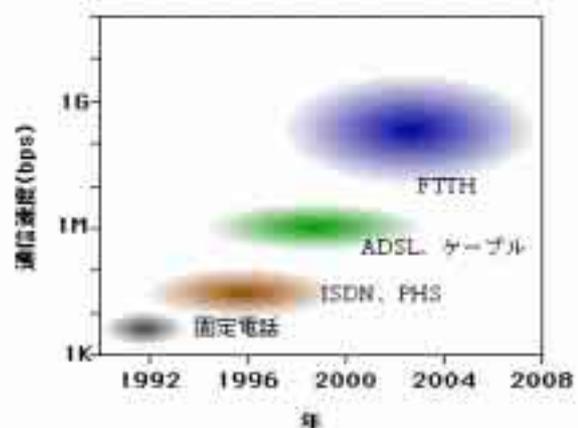


図1. 通信速度の推移

次に、アクティブデバイスの動向として International Technology Roadmap for Semiconductors (ITRS,2000 Update)の

On-chip local clock (high-performance)と Chip-to-board (off-chip) speedをもとに作成したロードマップを図2に示す。このロードマップが示す通り、アクティブデバイス的高速化が進み2005年ではoff-chip speedでも約2GHzが求められる。

一方で、実装レベルでの動作速度はPCI(Peripheral Component Interconnect)バスは66MHz程度、メモリボードでの動作速度においても100~250MHz程度に留まっている。ブロードバンド実現の為に、実装レベルでの高速化が強く望まれる。

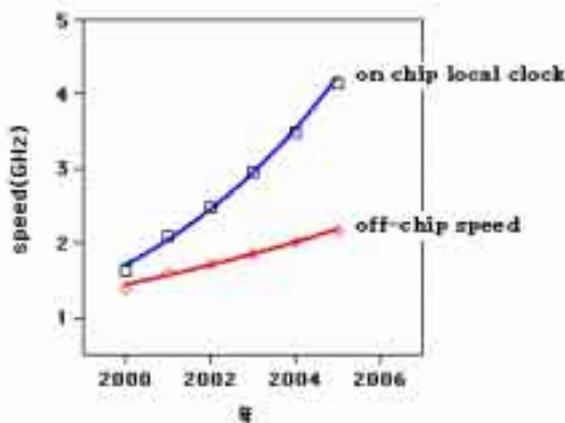


図2 . デバイスの高速化

3 . 実装レベルの高速化

データ処理を担う半導体そのものの高速化は着実に進化しており検討がなされているが、半導体等を繋ぐプリント配線板(特にSiP)の高周波対応が共通のネック技術として横たわっている。高周波(GHz帯域)特性に優れたプリント配線板の開発がブロードバンド時代到来の鍵を握ると言っても過言ではない。

GHz帯域の伝送特性に優れたプリント配線板の実現を妨げる因子は、お互いに相互作用し、明確に区分するのは困難であるが、重要な要素技術として、以下の4点が挙げられる。

- (1) 高密度化
- (2) 絶縁材料の誘電特性

(3) GHz帯域における導体伝送特性

(4) 特性インピーダンスコントロール

高周波特性を解決する手段として、(1)の高密度化はクロストークノイズを増大させる懸念があるものの、配線路長の短縮化による信号エネルギーの減衰の低減や、電源層の近接化による電源インダクタンスの低減、さらには電圧降下の低減など多くのメリットを有する。また、LSIの多機能化、高集積化に伴い端子数の増加、端子間隔の狭ピッチ化トレンドへの対応の為に必須技術となる。現在のプリント配線板はビルドアップ法の採用により、従来プリント配線板の配線ルール(配線幅/配線間隔 = 100 μ m / 100 μ m ~ 250 μ m / 250 μ m)から飛躍的に向上し、現在の配線ルールは配線幅/配線間隔 = 30 μ m / 30 μ m ~ 75 μ m / 75 μ mに達しているが、将来的に10 μ mレベル~数 μ mレベルまで求められると考えられる。このような高密度化に対応するためには、絶縁特性に優れた絶縁材料の適用、高密度配線形成技術が必要となる。

プリント配線板の絶縁材料は、コストや軽量化、加工性に優れる理由から有機材料が広く用いられている。しかし、(2)の絶縁材料の誘電特性は、この有機材料の特性に大きな影響を受ける。現状使用されているエポキシ系絶縁材料は一般的に吸湿しやすく、環境の湿度変動に伴い誘電特性が変動する事、誘電分極が高く、分子運動性も高いために信号伝達遅延に繋がる比誘電率、損失に繋がる誘電正接が高いという問題が存在する。これら問題をクリアできる低吸水性、低誘電率、低誘電正接を有する絶縁材料の適用が求められる。

(3)のGHz帯域の導体伝送特性では、表皮効果(skin effect)問題を避けて通れない。表皮効果とは、高周波領域において電流が磁界の影響により表皮に集中する現象を指すが、電磁界の強さが導体表面 $z = 0$ における値の

1 / e に減衰する距離を表皮の厚さ (skin depth) といい、円柱のモデルでは式 (1) で表される²⁾。

$$= \sqrt{\frac{2}{\mu}} \quad \text{式 (1)}$$

式 (1) 中、 δ は表皮の厚さ、 ω は角周波数、 μ は透磁率、 σ は導電率である。式 (1) の通り周波数が高くなるほど表皮効果は大きくなり GHz 帯域では数 μm ~ サブ μm レベルとなる。この表皮効果のため、導体表層の粗さは、表皮の厚さより十分に小さい事が求められる。

さらに高周波領域における伝送の特徴として、信号が光に似た挙動を示す事が挙げられる。高周波領域で信号は光に似た挙動を示し、特性インピーダンスの不整合部分が存在すると、信号は反射とそれに伴う透過量の減少を生じる。そのため、特性インピーダンス整合への回路設計精度の高さが求められる一方、設計した通りに製造する (4) の特性インピーダンスのコントロール技術が重要となる。式 (2) にストリップラインの実験式を示す³⁾。

$$Z_0 = \frac{60}{\sqrt{\epsilon_r}} \cdot \ln\left(\frac{8h}{0.67\pi(0.8W + t)}\right) \quad \text{式 (2)}$$

ここで、 Z_0 は特性インピーダンス、 ϵ_r は絶縁材料の比誘電率、 h は絶縁層厚み、 W は配線幅、 t は配線厚みを示す。

式 (2) が示す通り、特性インピーダンスを設計通りにコントロールするためには、絶縁材料比誘電率の安定性、絶縁材料の厚み、配線幅、配線厚みのコントロールが重要とな

る。

4. 研究のねらい

前述の通り、実装レベルの高速化を目指す上で、絶縁材料として「低誘電、低誘電正接、吸湿が少なく誘電特性が環境中で安定、絶縁性能に優れる」材料を使用する事、配線形成技術として「平滑な樹脂表面に平滑な配線」を確立する事が重要な技術である事が分かる。

従来の配線形成技術では絶縁材料表面に 3 ~ 10 μm の粗面化処理を施し物理的なアン

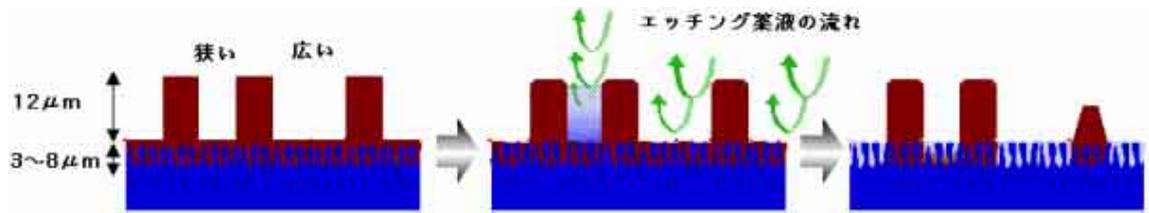


図3. 配線エッチング工程

カーリングを引き出す必要がある。粗面上に形成された導体層は、先に述べた伝送特性を悪化させる他、高密度配線形成にも不向きとなる問題がある。これは、図3に示す通り、配線形成のエッチング工程でのアンカーリング部分めっき層除去の為に、配線の狭ピッチ部分と広ピッチ部分でエッチングレートが異なり、精度良く配線幅、配線厚みを形成する事が困難である事に起因する。

そこで、めっきグループでは「低誘電、低誘電正接、吸湿が少なく誘電特性が環境中で安定、絶縁性能に優れる」絶縁材料の「平滑な表面に平滑な配線」を密着性よく形成する技術を確立することを目的として、研究に取り組んでいる。

5. 平滑な樹脂面へのめっき皮膜形成

一昨年は、日本ゼオン株式会社が開発した低誘電絶縁材料上に、平均粗さ Ra が 0.5 μm 以下の平滑状態で、密着強度の高いめっき皮膜形成を目標として取り組んだ。表 1 にこの絶縁材料の一般特性を示す。

表 1. 絶縁材料特性値

特性名称	特性値	試験方法
電気強度 (1mm)	2.7	JIS C4403 (65V, 50%RH, 100Hz)
誘電正接 (1mm)	0.009	JIS C4403 (65V, 50%RH, 100Hz)
吸水率	0.14%	JIS K7203
絶縁特性	初期値	10 ¹⁴ Ω・cm
	試験値	10 ¹² Ω・cm

本検討の取り組みに際しては、次のような事象を考慮した。一般に、絶縁層表面には図 4 に示す通り、樹脂内部より低分子成分などがブリードして形成された弱境界層、さらに上部には空気の吸着層が存在すると考えられる。これら、空気吸着層や弱境界層を除去し、金属の配位子層を形成する過程において、新たな弱境界層が発生する事が平滑面へ密着特性の高いめっき皮膜形成を阻害する要因ではないかと考えた。



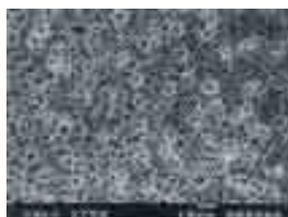
図 4. 表層近傍の断面模式

本研究グループでは、これらの問題を配位子導入、弱境界層除去処理方法の適正化などにより解決出来るとの考えをもとに研究を実施した。結果、極めて平滑な絶縁樹脂の表面に密着性の高い銅めっき皮膜を形成する事に成功した。

得られためっき皮膜の密着強度は約 0.6 Kgf/cm と実用上の密着特性を有しており、めっき皮膜下部の絶縁層表面の粗さも原子間力

顕微鏡 (AFM) 観察で、 $Ra = 0.034 \mu m$ と従来一般的に用いられているプリント配線板表面粗さ $Ra = 3 \mu m$ の 1/100 である。

図 5 に従来プリント配線板表面状態との比較 SEM 像を図 6 に AFM 像を示すが、平滑で有る事が確認される。



従来プリント配線板 試験サンプル表面

図 5. 表面 SEM 像

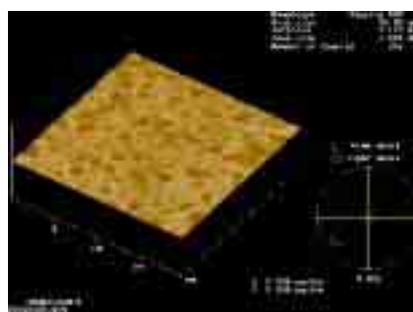


図 6. AFM 像

6. 実用化に向けて

「低誘電、低誘電正接、吸湿が少なく誘電特性が環境中で安定、絶縁性能に優れる」絶縁材料の「平滑な表面に平滑な配線」を密着性よく形成する技術の確立を目的とし、表面粗さ $Ra = 0.034 \mu m$ で実用必要とされる密着強度約 0.6 Kgf/cm が得ることができた。昨年度は、九州経済産業局の即効型地域新生コンソーシアムの 1 テー、マとして、GHz 帯域における伝送特性の確認、メカニズムの詳細

細な解析などを進める一方、GHz帯域駆動プリント配線板、特にSiPの実用化に向け、配線形成した実基板の作成ができるまでのめっき技術確立を狙った。

これまでは研究室レベルでの研究の為、20mm×50mm角のベタ基板による検討を行ってきたが、実際の基板を想定し、250mm×250mm以上の基板で面内均一にめっきを行える技術を確認する。さらに配線形成も考慮し、ベタ基板だけではなく小径ビアホール周辺部のつきまわり特性を確保しためっき技術の検討を行う。最終的には配線形成した基板で信頼性を得るまでのめっき技術の確立を目指すものである。

昨年度の成果を以下にまとめる。

ワークサイズでのめっき密着性の実現
微細配線の高精度パターンニング
優れた伝送特性の実現

本テーマは、非常に技術的な難易度が高い開発であるが、はじめの背景でも触れたとおり、近い将来必要不可欠となるものであり、基板・めっき・材料メーカーおよび地場企業の連携強化を図り、早期に実用化の目処をつけたいと考えている。

1) 小池康博、(社)エレクトロニクス実装学会 材料技術委員会 3 研究合同研究会予稿、2001

2) 藤島実、
http://www.st.t.u-tokyo.ac.jp/~fujii/skin_effect2.html

3) (社)ハイブリットマイクロエレクトロニクス協会編、エレクトロニクス実装技術基礎講座、No.6、1995

4)
T.Shimoto,K.Maysui,K.Kikuchi,Y.Shimada,
and K.Utsumi "New High-Density
Multilayer Technology on PCB," IEEE