

次世代半導体に向けた 有機インターポーザ開発用 TEG の開発

根本 俊介（電子技術部 電子デバイスグループ）

林 瑛瑛（東京都市大学 理工学部）*

1. はじめに

これまで、ムーアの法則に沿った微細化が行われている半導体分野において、設計コストの増大からデバイスを縦方向に積層実装し、デバイスの信頼性担保と高性能化を可能とする 3 次元積層実装や 2.5 次元積層実装の研究開発が行われている。

また、現在の CPU 等の動作周波数は主に 5-6 GHz で使用されており、半導体企業から高周波化（10 GHz）によるさらなる高性能化が求められている。そのため、高周波化に対応する低誘電率、低誘電正接の有機材料が注目されており、CPU-メモリ間を繋ぐインターポーザへの適用が望まれている¹⁾。

現在、日本には多数の材料メーカーや装置メーカーが存在している。しかし、これらの企業が半導体製造プロセスの評価を行う際に必要となる TEG（Test Element Group）の調達は容易ではない。特に、迅速な評価や試験を行うためには、すぐに利用可能な簡易 TEG の存在が重要である。そのため、誰もが手軽に活用できる TEG の研究開発が強く求められている。

そこで、これらの目的を達成するために、本研究では、次世代半導体向けの有機インターポーザ開発用 TEG に対応したフォトマスクを東京都市大学と共同で設計した。

本研究開発を通じて、電気特性評価用パターンを提供することで、材料メーカー、装置メーカー、関連企業の技術力向上および製品開発に貢献するものである。

2. 実験及び結果

実施内容

- ・既存のフォトマスクを利用した配線形成プロセス検討
- ・スパッタ法による配線形成プロセスの確認
- ・電磁界シミュレーションによるクロストークの解析
- ・伝送路とクロストーク評価用フォトマスク作製（2024 年度中は、設計まで）

成果

① 実験の成果

有機インターポーザの作製のために、既存のフォトマスクを利用することによって配線形成のプロセス検討を実施した。既存のフォトマスクの配線パターンは 15 μm 幅

となっており、このパターンによるフォトリソグラフィが可能であれば新規開発するフォトマスクにおいても配線パターン形成が可能と考えられる。なお、RDL

（Redistribution Layer）材料には、感光性のネガ型レジストを用いている。

はじめに、シリコンウェハにスピコートを実施し 3 μm 厚にレジスト塗布を行った。その後、レジストの溶剤を揮発させるためプリベークを実施し、i 線露光機を用いて露光後、現像を実施した。図 1 がフォトリソグラフィ後のサンプルである。この結果、15 μm 幅の配線パターンがネガ型レジストを用いて形成可能であることを確認した。

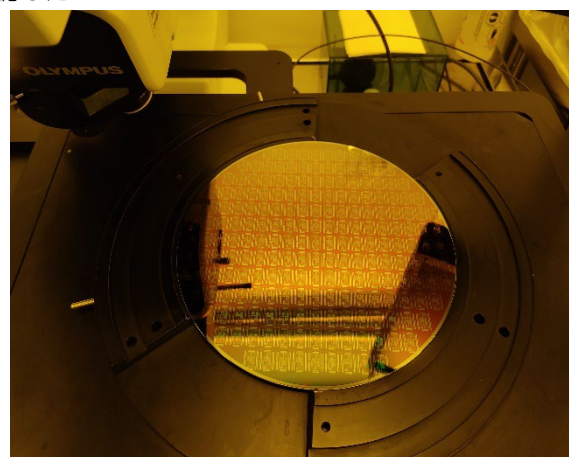


図 1 ネガ型レジストによる RDL 配線作製プロセス確認

次に、配線パターンを形成したウェハ上にスパッタ法を実施し、レジストの有無で成膜状況がどのようになるか確認を行った。図 2 は、Ti:20 nm/Au500 nm スパッタを行ったサンプルである。リフトオフを行うと図 3(a)の通り微細配線は 3 μm レベルまで形成ができることが分かった。また、15 μm 幅の配線を図 3(b)に示す。デージーチェーンの電極や配線による確認を行い、正常に配線が形成されていることを確認した。

上記の通り、1 層目となる Si に対する配線形成は、実施できることが分かった。しかし、図 2 拡大図に示す通り、レジスト上の Ti/Au については、浮きが発生しており、密着性が悪いことが分かった。この原因として、スパッタ法では、Si ウェハ上に熱がかかるため、樹脂の線膨張と金属の線膨張差を吸収できなかったものと考え

る。これは、スパッタ法のみによる2層目以降の配線形成が非常に難しくなることを意味する。

そのため、RDL材料の選定においては、めっき法に対応可能で線膨張係数が配線材料と近いものが良いと考えられる。工法開発における、めっきシード層形成用のスパッタ法による時間と電力の最適化、めっきによる配線形成については2025年度以降に実施することとした。

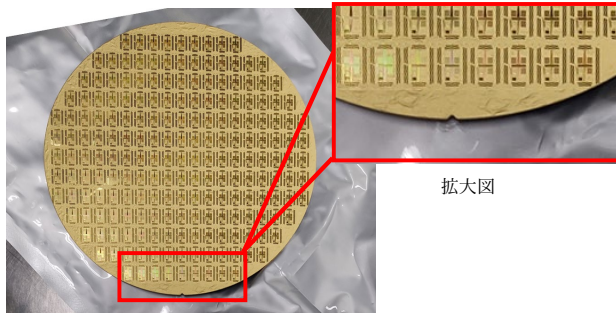
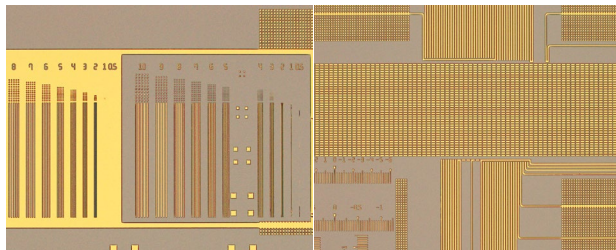


図2 Au スパッタ後の配線パターン



(a)ライン&スペース

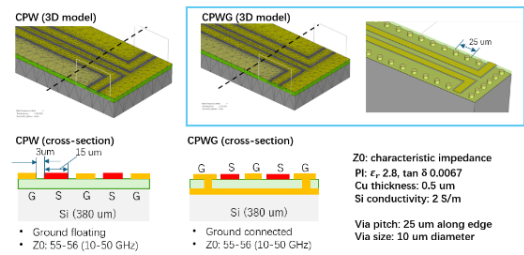
(b)配線パターン

図3 リフトオフ後のライン&スペースと配線パターン

一方、東京都市大学において、有機インターポーザ開発用 TEG の開発のため電磁界シミュレーションによるクロストークの解析を Ansys HFSS を使用して実施した。図4に電磁界シミュレーションの設計値と結果を示すが、配線幅 15 μm 、配線長 1 mm とシノイズの影響を最大にするため、実際の配線形成で最小線幅であった 3 μm ピッチでの CPW(コプレーナ線路)と CPWG (グランド付きコプレーナ線路)の比較を行った。その結果、周波数 10GHz までの範囲では、CPW では NEXT(近端クロストーク)と FEXT(遠端クロストーク)ともに -20dB を超え、CPWG では NEXT と FEXT ともに -20dB を越えないことがわかった。この結果により、一般的な CPWG を使用すれば 20 μm から 55 μm ピッチ、クロストーク 20 dB 以下 (10 GHz まで) が実現できることが分かった。

電磁界シミュレーションによる結果から、伝送路とクロストーク評価用のフォトマスクを設計(作製は2025年度)した(図4および図5)。設計(作製)したフォトマスクにおいては 15 μm 幅(長さ 1 mm)等の伝送路とともに、半導体メーカーから得た情報をもとに、より微細な 6 μm 幅、5 μm 幅、2 μm 幅、1 μm 幅の配線パターンも準備した。今後作成を予定している TEG については、配線作製プロセスの見直しとともに、2025 年度に評価を実施していきたい。

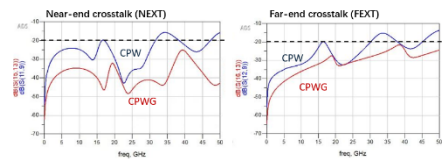
Coupling for Coplanar Waveguide (CPW) Configuration



(a) コプレーナ線路の設計

3. 考察及び今後の展開

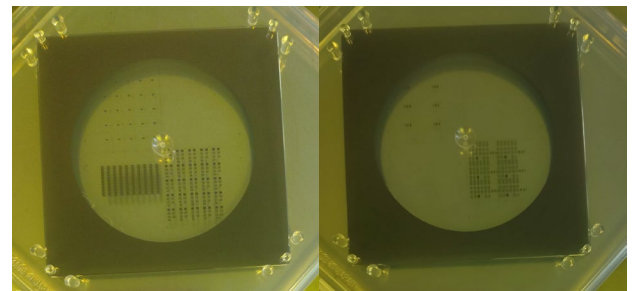
Simulation Results



- NEXT results shows some periodicity, while FEXT observed to increase with frequency.
- With ground layers connected, CPWG configuration observed to suppress NEXT and FEXT compared to CPW to meet specifications of < -20dB.

(b) コプレーナ線路の CPW と CPWG の解析結果

図4 コプレーナ線路の電磁界シミュレーション



(a) 伝送路評価用

(b) クロストーク評価用

図5 作製したフォトマスク

本研究開発を通してフォトマスクの設計までは完了することができた。今後、このフォトマスクを使用し、企業の技術力向上および、製品開発に貢献していく予定である。

【参考文献】

1. Gang Duan et al., 2021 IEEE 71st Electronic Components and Technology Conference (ECTC), 1-7(2021)

【謝辞】

本研究は公益財団法人 JKA の 2024 年度機械振興補助事業「公設工業試験研究所等が主体的に取組む共同研究」の補助を受けて実施しました。

【*現所属】

(国研) 産業技術総合研究所