

半導体積層構造(TSV)基板の平坦化技術の開発

新規研磨パッドとパッド再生技術の開発

稲垣順一^{*}, 林 大貴^{*}, 鈴木辰俊^{**}, 鈴木教和^{***}

Development of a Novel Polishing Pad and a Recycle Technique for Pad

Jun-ichi INAGAKI, Daiki HAYASHI, Tatsutoshi SUZUKI and Norikazu SUZUKI

1. はじめに

電子機器の小型化, 高機能化に対応した半導体の構造は平面の2次元構造から3次元構造へ, 多層化による積層構造(TSV: Through the Silicon Vias)で有効的な集積の実現を図られている。一方, コスト低減の課題で熾烈な国際的な価格競争を余儀なくされている。

半導体の製造工程で, TSVの構造上, 研磨工程による平坦化工程では研磨パッドの消耗が著しく, コスト低減を目的としたパッド開発が求められている。現在, 世界の半導体製造工程において, 米国 Rodel 社(旧社名)が15年程前に開発したIC1000を中心とする発泡ウレタン製の研磨パッドが90%以上使われている。

近年, 半導体の開発ロードマップに沿って, 薄膜や微細配線に対応するための研磨パッドの開発が他社でも進められているが, それらの実用化は一部に限られている。

半導体開発において微細化が限界に達し, TSVによる三次元集積化の検討が進められている。平坦化技術がナノレベルの微細化に対応して進められてきた為, 従来の研磨パッドで突出した銅電極を平坦化すると損耗が激しく品質も安定していない。TSVは大きな研磨量や, 異材質が研磨面に混

在するため, 研磨パッドの消耗が問題になっている。本研究は以上の課題を解決するための半導体TSV基板平坦化技術の開発について検討した。

2. 実験方法

2.1 TSV用新素材研磨パッドの開発

従来の発泡材パッドでは, その消耗が問題とされている。硬質の無発泡樹脂製研磨パッドを開発し, 試作機を用いてその研磨レートの測定を行った。

2.2 研磨パッド再生技術の開発

研磨機の改造なしで素早く着脱できる補助板を開発した。これは, 研磨パッド具体的には予め補助板の上面に研磨パッドを粘着テープで固定しておき, 現場では補助板の下面を研磨機の定盤に嵌め込み固定する。固定力は研磨中に発生する最大回転トルクに対して2倍以上の安全性が必要であり, 研磨終了時に基板を上昇させる時に発生する吸着力に対しても2倍以上の安全性が必要である。

また, 研磨作業でパッドが摩耗したら補助板ごと取り外して, パッドに付着した研磨屑や薬品を洗浄して乾燥する必要がある。洗浄は, 微粒化した純水を高圧で吹き付ける方式と超音波振動による方式, 薬剤を使用したブラシ洗浄方式について波長分散型X線分析顕微鏡で比較検討した。

2.3 再生パッドの性能評価

現在の作業手順として新品パッドの使用開始時には, 研磨機上で表面を目立てする準備作業を行う必要がある。この作業を省略して出来ればより効率的に作業が出来ることになる。新パッド装着

* 窯業研究室

** 東邦エンジニアリング株式会社

*** 国立大学法人名古屋大学

後すぐに作業が出来る表面仕上げを得るための加工方法を開発し、パッドの表面観察を共焦点レーザー顕微鏡および走査型電子顕微鏡で行った。また、工具と加工条件との関係を分析、最適化してパッドの機械的物性と研磨特性について評価を実施した。

3. 結果と考察

3.1 TSV 用新素材研磨パッドの開発

完成した無発泡樹脂の研磨パッドで TSV 基板を研磨したが、ドレスが従来と同じ条件では性能が十分発揮できないことがわかった。

銅膜付基板による基礎実験によりドレス条件を検討し、その結果を基に TSV 基板の試験を行った。特殊スラリーを用いて、加圧 280 g/cm^2 、 70 rpm 、スラリー量 200 cc/min の条件で研磨を行ったところ、1 分間当たりの研磨レート $3 \mu\text{m}$ 以上を得ることができたが、図 1 に示すように $13 \mu\text{m}$ 程度の銅膜を取ると、基板の中央部分が先に削れてしまう現象が見られた。

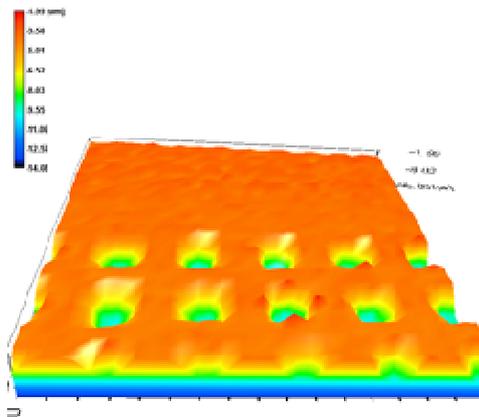


図 1 研磨パッドのレーザー顕微鏡像

しかし、無発泡樹脂パッドに耐水性のあるクッション層を貼り TSV 基板の研磨を行った結果、従来のパッドと比べて均一性に差が無いことがわかった。

3.2 研磨パッド再生技術の開発

再生パッドを量産プロセスに適用するための解析として、研磨パッドの表面凹凸のモデル化と圧縮試験機を用いた圧縮試験、および机上計測を実現する力測定装置と圧縮試験装置に関する検討・設計・開発を行い、以下の成果を得た。

- ・GW モデルを用いて凹凸層の非線形弾性特性をモデル化し、圧縮試験結果を比較することで研磨パッド材料特性を同定することを提案した。
- ・提案手法を用いて評価を行った結果、非線形弾性特性と粘性特性を同定し得ることを確認した。
- ・高精度な研磨トルク、研磨抵抗の測定を実現する研磨定盤型の力測定装置を開発した。有限要素法解析の結果、10 倍程度の高剛性化と 20 倍以上の固有振動数の増大が期待できることを確認した。

表 1 に、研磨レートの変化の一例を示す。

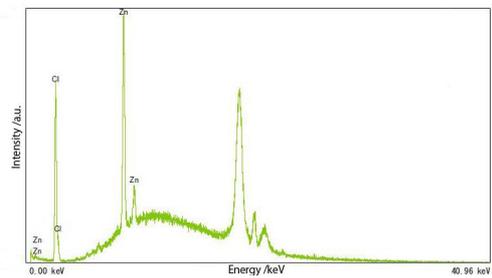


図 2(a)再生加工前の分析結果

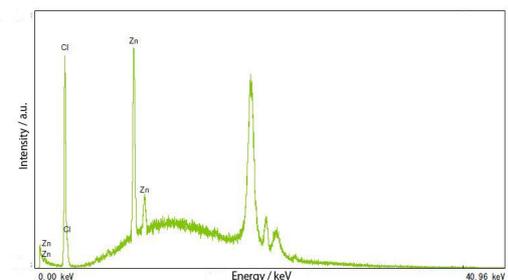


図 2(b)再生加工後の分析結果

表 1 研磨レートの変化

| | | | | | | | |
|------------|-------|----------------------------|-------|-------------|------|----------------|-------|
| テスト No | 8 | 補助板 | なし | ヘッド回転数(rpm) | 105 | スラリー流量(ml/min) | 100 |
| 基板 No | 24 | 研磨荷重 (gf/cm ²) | 140 | 定盤回転数(rpm) | 105 | | |
| 研磨時間 (min) | 1 | 研磨レート (μm/min) | 0.569 | 全体 P-V | 0.17 | 標準偏差 | 0.049 |
| 研磨量 (μm) | 0.569 | X 軸 P-V | 0.15 | Y 軸 P-V | 0.16 | | |

再生パッドの表面観察と定性分析を行った結果、図 2(a)に再生加工前の分析結果を、(b)に加工後の結果を示すように、新品パッドとの有意差は認められなかった。

3.3 再生パッドの性能評価

図 3 にスラリー量を変化させたパッドの再生前後の研磨レートを示す。TSV 半導体の 200 mm 試験用基板を再生パッドで研磨した結果、新品パッドと比べて特に支障なく研磨できることを確認できた。

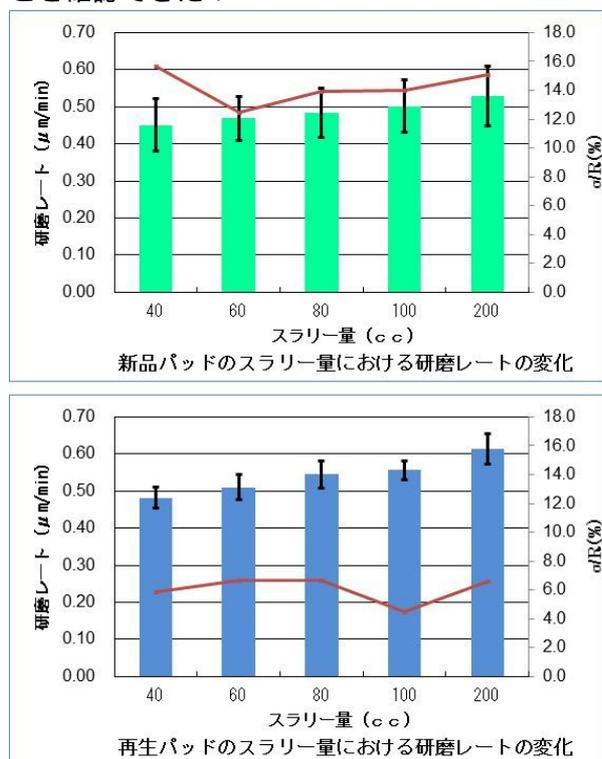


図 3 スラリー量を変化させた研磨レートの変化

4. まとめ

半導体の平面的微細化が限界に達し、TSV に

よる三次元化による集積化の検討が進められているが、この製造工程において CMP パッドの消耗量の増大が予測される。ところが CMP パッドは一度使用すると、研磨液等の変質や剥がすとしわができるため、使い捨てが業界標準とされてきた。

本研究開発において、研磨装置を改造することなく容易に繰り返し着脱可能な、研磨パッド再生用補助板を実用レベルで開発することに成功した。この補助板は構造が簡便であるため焼却コストが安く、パッドの再生コストは新品価格の半額にできるため、1 回再生すればパッドのコストを 25 %削減できる。

さらにパッド表面を研磨に適した状態に仕上げることにより、新品パッドで従来よりも 10 %ないし 40 %高い研磨平坦性を得ることに成功した。まだ完全にドレスを無くせるレベルにはたっていないが、今後も継続して開発を進めて目標を達成したい。また溝を精密加工することによっても平坦性が向上していると判断できる。今後は高価な研磨液を削減できる溝構造についても開発を進めたい。溝加工装置の完成が遅れたこともあり、生産性 20 %向上の目標は今後の継続研究により達成したい。

一方でパッド摩耗を半減する目的で、従来に無い無発泡樹脂パッドを TSV に適用する開発を行った。防水性のあるクッション層を装着した研磨パッドによる TSV 基板の研磨実験から、パッド寿命の延長と研磨品質の安定が期待できる結果が認められた。今後パッド表面仕上げ方法と溝加工方法について継続して研究を進め、寿命が 2 倍以上の TSV 用無発泡樹脂パッドを完成させたい。