

論文審査の結果の要旨および担当者

報告番号	※ 乙 第 7202 号
------	--------------

氏 名 虎澤 直樹

論 文 題 目

LSIデバイス微細Cu配線のプロセスと高信頼性化に関する研究
(Study on Manufacturing Process and Reliability of Cu
Interconnects in Advanced LSI)

論文審査担当者

主査	名古屋大学	未来材料・システム研究所	教授	財満 鎮明
委員	名古屋大学	工学研究科	教授	中塚 理
委員	名古屋大学	工学研究科	教授	浅野 秀文
委員	名古屋大学	工学研究科	教授	宮崎 誠一

論文審査の結果の要旨

虎澤直樹君提出の論文「LSIデバイス微細Cu配線のプロセスと高信頼性に関する研究」は、半導体LSIにおけるCu配線の微細化に伴って顕在化するCu埋め込み特性、電気特性、信頼性に関する問題を解決するため、メタル材料、絶縁膜材料、製造プロセス技術の観点から研究開発に関する研究をまとめたものであり、全7章より構成される。

第1章は序論であり、本研究の背景および目的について述べている。

第2章においては、本研究で検討した金属膜、絶縁膜、および配線形状等の構造を評価するために使用した分析装置、シミュレーションや定理等の分析・解析方法について説明している。

第3章においては、Cu埋め込み特性、ビア抵抗、信頼性に関する諸問題を解決するため、Enhanced Cuシード技術としてRuTa合金バリアを検討した結果について述べている。RuTa膜の比抵抗は、従来材料のTa膜の約1/3であり、RuTaバリアの適用によりCuとの良好な濡れ性とビア抵抗低減の両立が可能であることを実証した。RuTaバリアの適用により、トレンチ内に薄膜Cuシードを凝集なく連続かつ平滑に形成でき、45nm幅の微細Cu配線のボイドフリー埋め込みを達成した。これらの結果より、従来のTaバリアと比較してRuTa合金バリアによるCu埋め込み特性の向上を明確化した。さらにRuTa/RuTa(N)バリアの適用により、ビアEM (Electromigration) 耐性はTa/TaNバリアと比べて約3600倍長寿命化することからEM耐性の向上を実証した。

第4章においては、RuTa合金を窒化したRuTa(N)膜の膜質、バリア性、電気特性及び信頼性の評価を実施し、RuTa合金の窒化がバリア性及び信頼性に与える影響を考察している。検討したRuTa(N)膜は、熱的安定性に乏しく、240°C以上において、膜中からNが脱離、再結晶化して結晶粒が粗大化することを見出し、RuTa単層膜と比較してRuTa(N)単層膜のバリア性は非常に乏しいことを確認した。その原因として、熱処理時のN脱離によるRuTa(N)膜の大傾角粒界構造形成と、Cu原子の粒界拡散の活性化エネルギーの減少によるCu拡散係数の増加を考察した。また、同バリア材のビアEM耐性も、RuTa単層バリアと比較して劣ることを見出した。これらの結果より、RuTa合金の窒化が、Cu拡散に対するバリア性やEM耐性の劣化等、デバイス特性や信頼性に重大な影響を与えることを示し、Cu配線バリア層として、RuTa(N)単層膜の問題点を明確化した。

第5章においては、Cu配線のRC遅延低減のために開発したMHM (Metal Hard Mask) プロセスにおいて、トレンチ形状異常であるWigglingを改善するためにTiNマスクの検討を行った結果について述べている。有限要素法による応力シミュレーションにより、特殊パターンである大面積のスペースに囲まれた配線密度の低いトレンチでWigglingが発生しやすいことを見出した。その原因として、トレンチ形成後に高い残留圧縮応力を有するTiNマスクが、その応力を緩和して大きく伸張するためと考察している。Wigglingを改善するため、TiN成膜条件の制御によるTiN膜質の改善を行い、残留圧縮応力を低減した。特に、成膜時のスパッタ粒子エネルギー低減により、釘打ち効果の影響を抑制し、繊維構造を有するTiN膜が形成されることを見出した。TiNマスクのエッチング特性は膜組成に大きく依存し、化学量論組成のTiN膜のエッチング特性は良好である一方、Ti-rich TiN膜では、TiN膜中のTiとCl₂系エッチングガスの反応によるエッチング残渣が発生するため、エッチング特性は悪化することを確認した。繊維構造を有する低応力TiNマスクのMHMプロセスへの適用により、Wiggling抑制とCu配線のボイドフリー埋め込みを実証した。

第6章においては、層間絶縁膜にELK (Extremely Low-k) 膜を適用したMHMセルフアラインビアプロセスの開発を行った結果について述べている。本研究で開発したMHMセルフアラインビアプロセスにより、ELK層間絶縁膜へのプロセスダメージを完全に抑制し、超低容量配線を実現した。MHMに対して層間絶縁膜のエッチング速度を高く制御することで実現したセルフアラインビアにより、ビアと配線の分離幅を拡大し、ビア付き配線間のTDDB耐性を向上した。また、ELK膜とSiC系ライナー膜の界面にO-rich遷移層を形成する界面酸素制御技術を開発し、ELK膜とライナー膜の界面の密着強度の向上を実証した。本技術により、十分なバンプ強度を有する多層Cu配線を形成でき、チップパッケージングの信頼性向上を実現した。

本論文においては、半導体LSIにおけるCu配線の埋め込み特性、電気特性、信頼性に関する問題について、メタル材料、絶縁膜材料、製造プロセス技術などの総合的な研究開発を論じている。Enhanced Cuシード技術として、RuTa合金のバリアメタル材料としての有望性を見出し、Cu配線MHMプロセスにおけるマスクとしては、繊維構造を有する低応力TiN膜が最適と結論付けた。さらに、MHMセルフアラインビアプロセスとELK膜とライナー膜の界面酸素制御技術が、高性能多層Cu配線構造に有用な製造プロセスであることを実証した。これらの成果は、将来のLSI用配線技術の進展に広く貢献するものであり、工業上、学術上寄与するところが極めて大きい。よって、本論文提出者虎澤直樹君は、博士(工学)の学位を受けるに十分な資格があるものと判定した。