

審査の結果の要旨

氏名 金 泰雄

半導体集積回路は高性能化，多機能化，低消費電力化のため微細化が進行している。中でも銅配線においては，配線断面積の縮小により電流密度が増加し，銅原子が電流により押し流されるエレクトロマイグレーションや薄膜間のストレス誘起ボイド形成などの信頼性劣化が顕在化している。銅配線と絶縁層の間には，銅原子の周囲への拡散を防ぐバリア層，銅配線とバリア層の密着性を確保するライナー層が配されているが，微細化に伴いこれらも薄層化する中，信頼性を確保するため特性をさらに向上させなければならない。そのため，プロセス改善，新規材料導入など多面的な研究開発が進んでおり，密着性，バリア性を定量的に評価することが必要である。

本論文は「Quantitative evaluation of barrier properties of ultra-thin PVD-Co(W) diffusion barrier layer in Cu interconnects by developing a new method (新規手法開発による Cu 多層配線用極薄 PVD-Co(W)膜の拡散バリア性の定量的評価)」と題し，極薄バリア層の定量的バリア性評価手法を構築するとともに，PVD (スパッタリング) により作製した Co(W)膜の高い拡散バリア性を示したものであり，全 5 章からなる。

第 1 章は序論であり，各種バリア性評価手法を整理するとともに，Co(W)膜がバリア層とライナー層の両方の特徴を併せ持つシングルバリアライナー層として機能することを紹介している。また，既存のバリア性評価手法は定性的な議論であり，定量的なバリア性評価手法の確立が急務であることを述べている。

第 2 章では，スパッタリング法により作製した膜厚 20nm の Co(W)膜のバリア性を評価している。バリア性は銅原子のバリア層内の拡散係数により定量評価できるため，X 線光電子分光(XPS)と Ar イオンエッチングにより求めた Co(W)膜中の銅原子の濃度分布にフィックの法則を適用し拡散係数を算出している。これにより，作製した Co(W)膜が既存のバリア層に比べ高いバリア性を有することを示した。また，Co(W)膜のシングルバリアライナー層として必要とされる密着性および比抵抗をそれぞれ接触角測定，4 探針抵抗測定により評価し，バリア性も含めた 3 つの尺度から Co(W)膜の最適組成を決定している。

第3章では、極薄 Co(W)膜の新規バリア性評価手法を提案している。第2章で使用した XPS 法はバリア層内の銅の膜厚方向濃度分布から拡散係数を決定する手法であり、20nm 程度の薄膜には使用できるものの、5nm 以下の極薄膜では濃度分布の評価が困難であるため使用できない。そのため、ポリマーメンブレン内の水素拡散係数を評価するために開発されたタイムラグ法を応用し、アニールにより極薄バリア層を通過した銅原子量を測定することにより拡散係数を評価する手法を構築した。本手法ではバリア膜を銅原子が通過するのに要する時間（定常状態への遅れ時間）と定常状態に達した後の拡散フラックスの両面から銅の拡散係数を評価できる。さらに、アニール温度を変化させることにより各温度での拡散係数を求め、拡散の活性化エネルギーを議論することも可能である。遅れ時間から評価された 10nm の Co(W)膜中銅拡散係数は、拡散フラックスと Co(W)中の銅溶解度を基に求めた値とほぼ一致し、本測定手法の妥当性を確認している。

第4章では、タイムラグ法を使用し、膜厚 8~12nm の Co(W)膜のバリア性の膜厚依存性を検討している。本系のように異種材料を堆積する際の初期過程は核発生・成長を経るため、欠陥等が生じやすく、極薄膜は厚膜とは異なる特性を示すことが多い。今回の検討では膜厚の依存性が見られなかったことから、スパッタリングにより形成した Co(W)には上記の懸念がないことが示された。このことは、今後の微細化によりバリア層が極薄膜化しても、バリア性が低下する可能性が小さいことを示しており、Co(W)のバリア材料としてのスケラビリティの高さを示すものである。また、より薄い膜のバリア性を評価するための方針についても検討し、膜厚に応じたアニール条件の適切な設定により実現可能であることを示している。

第5章は総括であり、各章にて得られた知見をまとめるとともに、今後の展望を述べている。

以上、本論文は半導体集積回路銅多層配線における極薄バリア層中の銅原子拡散係数を測定する手法を構築し、バリア性を定量的に評価する技術を確立したものである。本手法は高性能化を目指す半導体集積回路用バリア膜の材料開発に極めて有益な評価法と見做すことができ、マテリアル工学への貢献は大きい。よって、本論文は博士（工学）の学位請求論文として合格と認められる。