博士（工　学）　鴨志田　和　良

学位論文題名

スパッタ法による超ＬＳＩ多層配線用Ａｌ系合金薄膜の形成技術に関する研究

学位論文内容の要旨

スパッタ法による金属薄膜は、集積回路の製作において、多層配線の電極材料，バリアメタル等に適用されうるきわめて重要な材料である。近年、集積回路の微細化・高集積化にともない、スパッタ法による金属薄膜をVLSIの多層配線プロセス技術に適用するための課題として、(1)配線の平坦化、(2)配線特性の安定化（コンタクト特性の向上，不純物の取り込まれ制御，高信頼化）、(3)配線表面の低反射率化がある。

本研究は、上記の課題を解決する新しい技術の開発とその技術のVLSI多層配線への応用を主目的にまとめたものである。以下に上記各課題について、得られた成果を要約する。

(i) **配線の平坦化**

(1)アルミニウム(Al)の平坦化技術として新たに流動バイアス{FB(Flowage bias)}スパッタ法を開発した。この方法は、荷電粒子の照射と衝撃および基板温度の上昇により融点以下の温度でAlが流動する現象を利用したものである。FBスパッタ法によるAlの平坦化は、バイアス処理法とバイアス堆積法（二ステップ堆積法）で実現できる。この方法は、従来のAlの平坦化法であるバイアススパッタ法に比べて堆積速度が格段に速く、またデバイスへのダメージも生じにくいなどの利点がある。そのため、高品質で速い堆積速度による平坦化Al膜の堆積が可能である。

(2)FBスパッタ法を用いて堆積した二層配線の測定結果より、ステップカバレッジ，電気特性，EM(Electromigration)耐性などに優れていることが判った。したがって、この配線の平坦化法はサブミクロンの多層配線に非常に有効な技術であるといえる。

(ii) **配線特性の安定化**

(1)コンタクト特性の向上に関しては、コンタクトへのバリアメタルの新しい形成法を提案した。この方法は、選択CVD(Chemical Vapor Deposition)チタンシリサイド($TiSi_2$)法によりコンタクト部のシリコン表面のみに選択的に$TiSi_2$膜を形成し、次いで、窒素プラズマバイアス処理法で$TiSi_2$表面を窒化してバリア性の高いチタンナイトライド(TiN)を形成した。この方法を用いることにより、熱処理でAlと$TiSi_2$が反応してしまう従来の問題点を解決できた。この方法はディープサブミクロンの多層配線への適用も可能であり、LSI配線の安定化技術として非常に有効なものである。

(2)不純物の取り込まれ制御に関しては、Al合金膜へのアルゴンの取り込まれを検討した。すなわち、スパッタガスであるアルゴンがAl-Si合金膜中のSi濃度に比例して取り込まれることを明らかにした。また、膜中に取り込まれたアルゴンは550℃の熱処理においても膜中から抜け出さず安定に膜中に残留することを明らかにした。

(3)Al合金配線の高信頼化に関しては、EM耐性を上げるためのAl結晶配向技術を提案した。すなわち、Al-Cu膜をアルゴン処理したTi上に堆積すると、(111)配向が高くなりEM耐性が向上することを明らかにした。この方法を用いると、EM寿命を従来よりも一桁程度長くできた。下地Tiのアルゴンプラズマ処理とAl-Cu膜の堆積を結び付ける技術でEM耐性の高い多層配線の形成を可能にした。

(iii) 配線表面の低反射率化

DCマグネトロンスパッタ法による低反射膜の形成を提案した。本方法により非晶質Si(a-Si)と低反射Al-Si膜を形成し、多層配線の光露光に適用した。以下に、結果をまとめる。

(1)DCマグネトロンスパッタ法により、$P_{Ar} \cdot l_{s-t}$=150 mTorr・cm (P_{Ar}：Ar圧力，l_{s-t}：基板－ターゲット間距離) 以上の条件下で堆積したa-Siの反射率は、0.25以下で通常のa-Siの約1/2と低い反射率の膜が得られた。低反射率になる原因として、低反射a-Siの密度は、1.8 g/cm^{3}前後と通常に比べ1割以上も小さいためと考えられる。膜形成時におけるSiのエネルギーを熱平衡化(Thermalization)の観点から検討し、Ar原子との衝突によってSi原子のエネルギーが熱平衡値に近くなった場合、低密度・低反射率a-Siが得られることを示した。

(2)Al-Si膜堆積時のAr圧力を増すと鏡面反射率は、減少する傾向になる。一方、Al, Al-Cu膜の場合には、ほとんど変化せず高い鏡面反射率となっている。低反射Al-Si{LR(Low-reflectivity)Al-Si}膜は、結晶粒間に隙間のある柱状結晶構造になるため入射光を吸収することができる。この理由は、高いAr圧力のもとでは、スパッタされたAlやSi原子が雰囲気ガスArとの衝突により基板に到達する時のエネルギーが減少しかつSi原子により結晶粒成長が抑制されるためと考えられる。LRAl-Si膜は、多量の酸素原子(～4 at.%)を取り込んでいる。この酸素の取り込まれは、柱状結晶成長による表面積の増大に起因している。その結果、可視光を吸収するAlの低級酸化物が形成されるため低反射化するものと考える。マグネトロンスパッタ法により堆積したa-Si膜およびLRAl-Si膜は、反射防止効果，ヒロック抑制効果，ヴィア抵抗の熱処理安定効果などがあり、かつプロセスを複雑にしないなどの多くの利点を有しているため、LSIの微細多層化に有効であることを明らかにした。

(iv) デバイスへの適用

本研究の成果を0.2 μm n-MOSFET, 超高速バイポーラLSIや0.25 μmCMOS/SIMOX LSIの完全平坦化４層配線に適用し、安定で信頼性の高い多層配線プロセス技術であることを実証した。

以上の検討により、従来困難であった配線の平坦化、配線特性の安定化（コンタクト特性の向上，不純物の取り込まれ制御，高信頼化）、配線表面の低反射率化を解決し、よってスパッタ法による信頼性の高いVLSI多層配線プロセス技術を確立することができた。また、本研究の成果をデバイスへ適用し、実用的な面においても有効な技術であることを実証した。

学位論文審査の要旨

主　査　　教　授　　雨　宮　好　仁
副　査　　教　授　　長谷川　英　機
副　査　　教　授　　武　笠　幸　一
副　査　　教　授　　酒　井　洋　輔

学　位　論　文　題　名

スパッタ法による超ＬＳＩ多層配線用 Ａｌ系合金薄膜の形成技術に関する研究

集積回路の製造において、スパッタ法による金属薄膜は多層配線の電極やコンタクト部のバリアメタルなどに応用範囲が広い。近年における集積回路の微細化・高集積化にともない、スパッタ薄膜形成技術に対して種々の要求が課せられるようになった。クォータミクロン超ＬＳＩの多層配線プロセスに対応するための項目として、（１）配線の平坦化、（２）配線特性の安定化、（３）配線表面の低反射率化、がある。これらの要求に応えることのできるスパッタ薄膜形成技術が望まれていた。

本研究は、上記の要求に対応することのできる新しいスパッタ薄膜形成技術の開発を行ったものである。あわせて実際の超ＬＳＩ多層配線形成に適用してその効果を確認し、開発技術の有効性を実証した。本研究は次のような体系的な成果からなる。

本研究では、はじめに平坦アルミニウム薄膜の形成技術として流動バイアススパッタ法を開発した。この方法は、荷電粒子の照射と衝撃および基板温度の上昇により融点以下の温度でAlが流動する現象を利用したものである。この方法は、従来のアルミニウム薄膜形成技術であるバイアススパッタ法に比べて堆積速度が格段に速く、また下地ＭＯＳデバイスの損傷が発生しない利点がある。そのため、高品質で速い堆積速度による平坦アルミニウム薄膜の形成が可能となった。この方法によるアルミニウム薄膜は段差被覆性が良くエレクトロマイグレーション耐性にも優れており、クォータミクロン寸法の微細多層配線にとくに適したものである。

次に、平坦アルミニウム薄膜による配線特性の安定化技術として、電極コンタクト部のバリアメタルを形成するための新しいスパッタ法を提案した。この方法は、選択的な化学気相成長法によりコンタクト部のシリコン表面のみチタンシリサイド膜を形成する技術と窒素プラズマバイアス処理でチタンシリサイド膜を窒化してチタンナイトライドを形成する技術からなる。この方法

を実際の多層配線適用して効果を確認した。クォータミクロンＬＳＩ配線の安定化技術として非常に有効なものである。

最後に配線表面の低反射率化のために、直流マグネトロンスパッタ法による低反射膜の形成法を確立した。スパッタターゲットから被堆積基板に向かうシリコン原子やアルミニウム原子をアルゴン原子と適度に衝突させて低反射表面の薄膜をつくる。本方法により作成した非晶質シリコン膜とアルミニウム膜は、いずれも表面の光反射率が低くなり、クォータミクロンのリソグラフィプロセスを適用するに適したものとなる。

これを要するに、著者は超ＬＳＩの微細多層配線プロセスを可能とする新しいスパッタ薄膜形成技術の開発を行ったものである。それによって超ＬＳＩの多層配線に要される平坦性／安定性／低反射率性の要求をすべて満たすアルミニウム薄膜を形成するための新しいスパッタ薄膜形成技術を確立し、先端的な超ＬＳＩの開拓研究に対して貢献するところ大なるものがある。

よって著者は、北海道大学博士（工学）の学位を授与される資格があるものと認める。