

メタルゲート電極対応プラズマ選択酸化装置「MARORA」

Plasma Selective Oxidation Equipment for Metal Gate Device

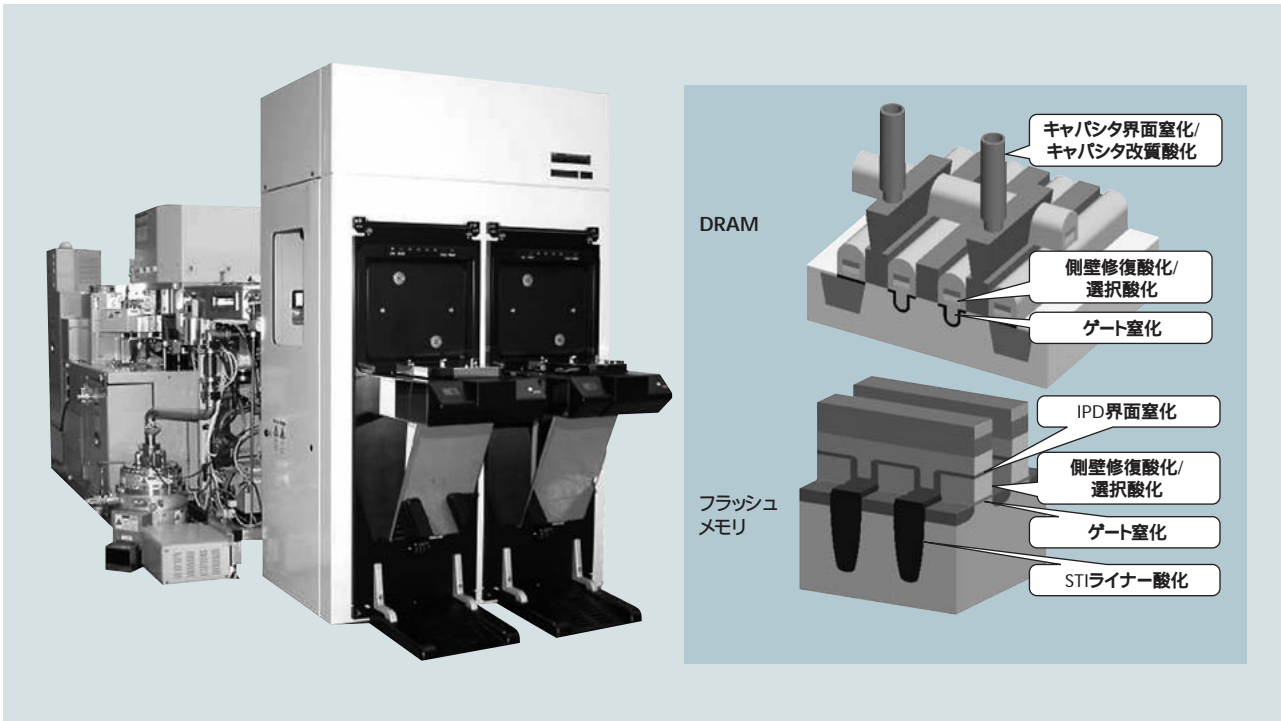
寺崎 正 Tadashi Terasaki

山本 克彦 Katsuhiko Yamamoto

與名本 欣樹 Yoshiki Yonamoto

富田 雅之 Masayuki Tomita

小川 雲龍 Unryu Ogawa



注:略語説明 DRAM(Dynamic Random Access Memory),IPD(Inter Poly-Si Dielectrics),ST(Shallow Trench Isolation)

図1 プラズマ選択酸化装置「MARORA」の外観とメモリデバイスへの主な適用工程

株式会社日立国際電気は、MMT(変形マグネロン型)プラズマ方式とプレート型高温ヒータを基盤技術として選択酸化装置を開発した。「MARORA」は選択酸化工程以外にも半導体デバイスの多くの工程に適用が検討されている。

半導体デバイスの製造プロセス低温化への要求に伴い、高温熱処理の代替技術としてプラズマ処理が検討されている。株式会社日立国際電気は、ゲート電極のメタル材料の採用に伴い、プラズマ選択酸化装置を製品化し、他社に先駆けてデバイス生産ラインへ導入した。

この選択酸化技術では、MMT(変形マグネロン型)プラズマ方式とプレート型高温ヒータが基盤技術であり、ウェーハ温度を従来のプラズマ装置よりも大幅に向上し、酸化膜中の界面準位密度を3割以上低減している。

今後もこの基盤技術をベースに顧客ニーズに対応した装置開発・プロセス開発を積極的に進め、半導体デバイスの進化に貢献していく。

1.はじめに

半導体デバイスの微細化により、新材料の開発・デバイス製造方法の見直しが各種検討されている。このような中、デバイス製造プロセスは低温化の要求が高まっており、成膜形成工程においては低温で高品質な薄膜形成技術の開発が盛んに行われている。

このような状況において、株式会社日立国際電気は、2001年から枚葉プラズマ窒化・酸化装置の生産を開始し、DRAM(Dynamic Random Access Memory)キャパシタ絶縁膜の改質、ゲート酸化膜窒化、High- k 高誘電率ゲート窒化のアプリケーションを中心に顧客納入実績を積み上げてきた¹⁾。これらのアプリケーションはウェーハ温度200~450で処理されてきたが、最近のデバイス製造プロセスの低温化に伴い、850以上のウェーハ温度で処理される高温熱処理装置の代替技術としてプラズマ処理装置が検討されるようになり、ウェーハ

温度450～850 の温度領域で処理が可能なプラズマ薄膜形成技術への要求が高まっている。

ここでは、このような顧客ニーズを背景に開発したメタルゲート電極対応プラズマ選択酸化装置「MARORA」について述べる(図1参照)。

2. 選択酸化プロセスの技術課題と対応策

半導体デバイスの微細化により、トランジスタのゲート電極においては、セルサイズが縮小して電極の抵抗値が上昇するため、電極材料が改良されPoly-Si(ポリシリコン)からシリサイド膜となり、一部のデバイスではW(タングステン)などメタル電極が採用されている。

一方、トランジスタのセルを形成する際にはゲート電極からゲート絶縁膜まで一括してエッチング加工される。このとき加工面にはエッチングダメージが発生するため、エッチング直後にダメージ修復酸化処理が行われる。しかしメタル電極は酸化されやすく、また酸化されると絶縁膜となって抵抗値が増加するため、修復酸化処理時には、メタル電極が酸化せずにSiを選択的に酸化する選択酸化技術が必要となる。

この選択酸化処理の技術課題としては、以下の3点がある。

- (1) パーズピークの抑制(Poly-Si電極界面端の酸化抑制)
- (2) エッチングダメージの修復
- (3) メタル電極とSiとの選択性の確保

しかし、従来プロセスである850 以上の高温熱酸化処理ではPoly-Si電極界面端が酸化してゲート酸化膜が増加するため、半導体デバイスの特性が劣化することが知られている²⁾。

株式会社日立国際電気は、これらの技術課題を解決するために以下の3点について検討した。

- (1) 枚葉プラズマ酸化処理での熱履歴低減によるパーズピークの抑制
- (2) プレート型高温ヒータの開発による高品質プラズマ酸化膜の形成
- (3) プロセス条件やプロセスシーケンスのチューニングによる選択性の確保

そして、これらを具現化するソリューションとして、パーズピークが発生しない範囲でなるべく高温にてプラズマ酸化処理が可能な装置開発を進め、デバイスメーカー研究所での評価期間を経て装置を製品化した。

3. 装置開発コンセプト

3.1 プラズマ生成機構および装置構成

プラズマ源は東北大学と共同開発したMMT(Modified Magnetron Typed)プラズマ方式を用いている。広範囲の圧力にて高密度で大口径に均一なプラズマを生成することが可能な点がMMTプラズマ源の特長であり、低電子温度(< 1 eV)

により、ダメージフリーである³⁾。また、プラズマが接する反応室内面の構成部材は高純度の石英部材を使用し、金属汚染を極限まで低減している。

装置構成としては、インラインタイプのプラットフォームを採用してフットプリントは2チャンバ構成にて6.6 m²と小さく、高速な搬送システムにより50枚/時の処理が可能である。

3.2 プレート型高温ヒータの開発

従来のプレート型ヒータの主材質はAlN(窒化アルミニウム)であったが、熱応力による耐強度の問題からヒータ温度600、ウェーハ温度450 が限界であった。そこでヒータの主材質を見直し、またシミュレーションによるヒータエレメント材質・パターン最適化やヒータ製造技術の開発によって、従来ヒータより大幅にウェーハ温度を昇温することができるプレート型高温ヒータを開発した。

3.3 選択性の確保

メタル電極を酸化させずにSi面を酸化するためには水素の還元作用を利用する。そのためプロセスガスには水素を含む混合ガスを用いるが、そのときの反応は酸化反応と還元反応が同時に進行することとなる。選択酸化プロセスを実現するためにはSiに対しては酸化反応が支配的となり、メタルに対しては還元反応が支配的となる条件でプロセスを行う必要がある。これらの条件はガス比のほかに温度やRF(Radio Frequency)パワーなどのプロセス条件によっても変化するため、実験的にプロセスウィンドウを把握して最適化している。

4. プラズマ選択酸化装置の性能

4.1 プラズマ酸化膜の温度依存性

前述のように選択酸化プロセスの技術課題を解決するため

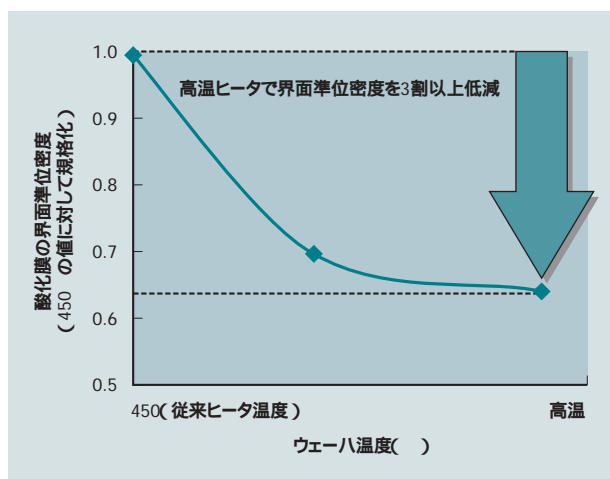


図2 酸化膜の界面準位密度のウェーハ温度依存性

従来ヒータのウェーハ温度450 での界面準位密度に対して規格化し、表示している。ウェーハ温度が高くなるほど界面準位密度は低減でき、高温ヒータの開発によって界面準位密度を3割以上低減できることが確認できた。

にプレート型高温ヒータを開発し、従来のウェーハ温度450に対して大幅に昇温することができるヒータを実現した。形成したプラズマ酸化膜の界面準位密度のウェーハ温度依存性を図2に示す。界面準位密度は膜質を強く反映しており、少ないほど良質の膜が形成されている。この図から、高温処理であるほど界面準位密度は低いことが確認でき、高温ヒータでは従来ヒータに対して酸化膜の界面準位密度を3.5割以上低減し、高品質な酸化膜の形成が可能であることがわかる。

4.2 選択性の確認

選択性が確保できるプロセスウィンドウは金属材料によって異なる。Wに対する選択性の評価結果を図3に示す。中央の表面SEM(Scanning Electron Microscope)像は選択性を有しない通常の酸化処理での表面形状であり、W表面に結晶粒が形成したように変化していることが確認できる。右の表面SEM像は選択酸化処理後の表面状態を示しており、未処理サンプルと変わらない表面状態である。また、図3の下グラフはW4fのXPS(X-ray Photoelectron Spectroscopy)のスペクトルであるが酸化処理後にWOx(酸化タングステン)のピークは減少しており、表面の元素分析結果からも選択性が確保されていることが確認できる。

金属材料がTiN(窒化チタン)の場合はWより先酸化されやすく、選択性の確保ができるプロセスウィンドウは狭くなる。プロセスガス中の水素比率を増加したときのTiNシート抵抗値

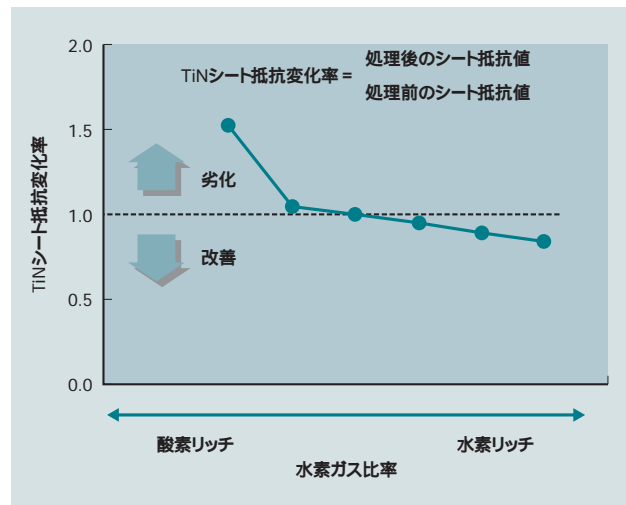


図4 水素比率の増加によるTiNシート抵抗の変化率
水素ガス比率を水素リッチにすることにより、酸化処理後のTiN膜のシート抵抗を低減することができる。

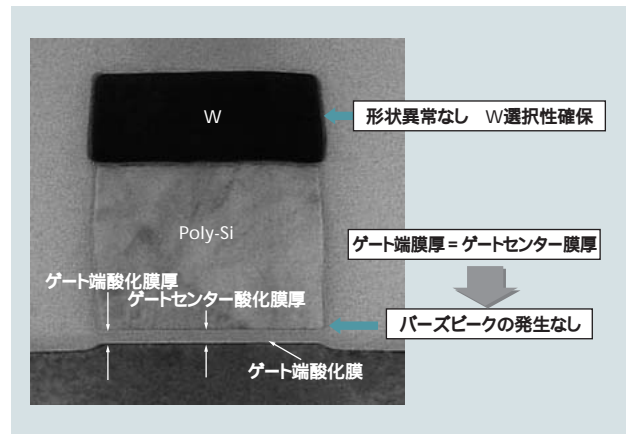
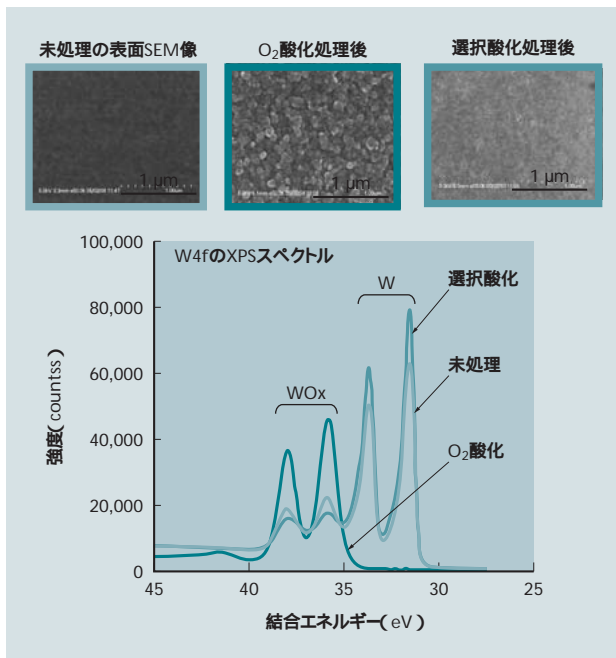


図5 断面TEM(透過電子顕微鏡)による選択酸化処理の形状評価結果
酸化処理後にW電極の形状異常は見られない。またゲート端の酸化膜厚とゲート中心部の酸化膜厚に変化はなく、パースピーク(Poly-Siの再酸化による酸化膜端の増膜)は発生していない。



注:略語説明 SEM(Scanning Electron Microscope)
XPS(X-ray Photoelectron Spectroscopy)

図3 W(タングステン)に対する選択性の評価結果

上段のSEM像により、選択酸化では未処理サンプルと変わらない表面形状を維持していることがわかる。また、XPSスペクトルからは、選択酸化処理後はWOx(酸化タングステン)のピークは減少しており、Wは酸化されていないことが確認できる。

変化率を図4に示す。TiN膜のシート抵抗値の上昇はTiN膜の酸化が進行したことを示し、プロセスガス中の水素比率を増加することによって選択酸化処理後のシート抵抗値の上昇が抑制されることがわかる。このほかWN(窒化タングステン)やTaN(窒化タンタル)の金属材料においても酸化を抑制できることを確認している。

断面TEM(Transmission Electron Microscope)によるプラズマ選択酸化処理の形状評価結果を図5に示す。ゲート電極はWを使用しているが、酸化処理後もWの外観異常は確認されず、パターンにおいても選択性は問題ないことが確認できる。また、ゲート酸化膜の中心部と端との膜厚変化はTEM像の検出下限以下となっており、パースピークが抑制されていることが確認できる。

4.3 デバイス適用評価結果

MARORAによる選択酸化技術をデバイスメーカー研究所

で評価し、トランジスタ特性においても良好であることが確認されている⁴⁾。60 nmの世代まではメタル電極を採用してもCVD(Chemical Vapor Deposition)膜をメタル電極にキャッピングして、デバイス製造プロセスを工夫することでメタルの酸化を抑制してきたが、50 nm以降の世代では微細化によりCVD膜のキャッピングなしでメタル電極を酸化させない選択酸化処理を行う必要があり、他社に先駆けてデバイス生産ラインへ導入され実績を積み上げている。また、High-*k*/メタルゲート構造のトランジスタにおいてもこの技術が必要と考えられることから、今後のメタルゲート電極の増加に伴い、キーテクノロジーとなるプロセス技術として期待されている。

5. おわりに

ここでは、プラズマの薄膜形成が可能なメタルゲート電極対応プラズマ選択酸化装置「MARORA」について述べた。

半導体製造プロセスの低温化により、従来は高温熱処理

で実施していた多くの工程においてプラズマ法への置き換えが検討されており、プラズマ処理の適用工程はますます増加すると予想されている。

株式会社日立国際電気は、今後も、半導体デバイスの動向を的確にとらえ、顧客ニーズを満足させる装置開発・プロセス開発を積極的に進め、半導体デバイスの進化に貢献していく考えである。

参考文献

- 1) 小川,外:90~65 nmプロセス対応のプラズマ酸化・窒化装置,日立評論, 85,4,329~332(2003.4)
- 2) Y.S.Yim, et al.:70 nm NAND Flash Technology with 0.025 μm^2 Cell Size for 4 G Flash Memory, IEDM Tech. Dig.(2003.12)
- 3) Yunlong Li, et al.:Production of Large-diameter Uniform Plasma by Modified Magnetron-typed Radio-frequency Discharge, Jpn. J. Appl. Phys. 36 4554(1997)
- 4) K.Y.Lim, et al.:Highly Reliable and Scalable Tungsten Polymetal Gate Process for Memory Devices Using Low-Temperature Plasma Selective Gate Reoxidation, Symposium on VLSI Tech. Dig(2006.6)

執筆者紹介



寺崎 正
1994年株式会社日立国際電気入社,電子機械事業部
富山工場 MMT装置設計部 所属
現在,半導体製造装置のプロセス開発に従事



富田 雅之
1984年株式会社日立国際電気入社,電子機械事業部
富山工場 MMT装置設計部 所属
現在,半導体製造装置の製品開発に従事



山本 克彦
1993年株式会社日立国際電気入社,電子機械事業部
富山工場 MMT装置設計部 所属
現在,半導体製造装置のプロセス開発に従事



小川 雲龍
1997年株式会社日立国際電気入社,電子機械事業部
富山工場 MMT装置設計部 所属
現在,半導体製造装置の開発に従事
工学博士
応用物理学会会員



與名本 欣樹
2001年日立製作所入社,生産技術研究所 プロセス
ソリューション研究部 所属
現在,半導体・絶縁膜の特性評価に従事
理学博士
応用物理学会会員