

# 半導体製造工程における洗浄技術

エム・エフエスアイ株式会社

FSIプロダクツ事業部長補佐・小林徳弘

## 1. はじめに

65nm以降では「テクノロジーノードが寸法で決まらなくなってきた」という声が上がっている<sup>(1)</sup>。寸法で決まる基本プロセスに加えて、歪みSiや高誘電率(High-k)ゲート絶縁膜、メタルゲート電極といったLSIの性能向上技術が入ってくるためである。同じ寸法でもこれらの性能向上技術の種類が違えば、プロセス技術は全く異なったものとなり、いつ、どのような技術を導入するかという各社各様の戦略がプロセスシナリオを決める時代になっている。

これまで多くのプロセスが露光技術のレベルで決まるとの考えから、最少パターンのハーフピッチでテクノロジーノードを表している。例えば、ITRSの2004年版によれば、最少ハーフピッチ65nmのノードは2007年に量産が始まると予想されている。

しかしながら、それ以降のデバイスについては寸法を縮めてもトランジスタの電流駆動能力は頭打ちになりつつある。そのため、微細化しなくても性能を向上できる技術の導入が求められる。例えばロジックデバイスでは高速化の為にチャンネル技術を導入したり、ゲート電極のフルシリサイド化を行ったり、メモリーデバイスではHigh-kゲート絶縁膜や、メタルゲート電極の採用が進むと思われる。これらの性能向上技術の導入と究極的な微細化が平行して進められていく。

本稿では、このような条件下で求められる洗浄技術とはどのようなものであり、且つどのような解があるのかについて述べていきたい。

## 2. 新材料への対応

前述の性能向上技術は、一言でいえば新材料の導入技術ということが出来る。チャンネル技術には、Siチャンネルへの歪みの印加(歪みSi技術)もあるが、SiGeやGeなどGeを含むチャンネル材料への変更(SiGe/Geチャンネル技術)は、新材料の導入といえる。High-kゲート誘電体膜はHfSiON系に絞り込まれてきた感があるが、これまでのSiON系に異質のHfが取り込まれている。メモリーデバイスで採用されるメタルゲート電極はWが候補となっており、またHigh-kゲート

誘電体膜の導入に伴うフェルミ・レベル・ピンニングを解消するように、ゲート電極材料の最適な組成を求める動きもある。過去様々な新材料の候補が浮上したが、現在ではCMOSプロセスへの適合性を持った材料をデバイスに組み込みデバイス性能での議論をする段階に移っている。

これまで、Si、SiO<sub>2</sub>、Poly-Siなどのシリコンベースの材料で構成されていたフロントエンドプロセス(トランジスタ工程)に金属成分が大挙して押しつけてきたような印象である。これらの金属成分は、その機能を用いるために導入されており、膜中に取り込まれているときには特に大きな問題はないが、プラズマ処理や熱処理、エッチングや洗浄を行なう場合に溶出し、デバイス性能を劣化させる要因となる。

洗浄プロセスでは、ウェハ内、ウェハ間の転写に加え、実際の量産Fabでの生産性を考えた場合、各々の成分に特化した洗浄装置を用意すると莫大なコストが掛かるため、様々なLotを同一装置で処理する必要があり、Lot間の転写についても考慮していかなければならない。

## 3. メタル成分の転写

メタル成分の転写に対応するため洗浄装置としては、ウェハを一枚ずつ処理する枚葉式のものに適しているが、高温・長時間の処理が要求されるプロセスでは生産性が問題となる。

例えば当社では、High-k膜の有効な候補となっているハフニウムシリケート系(HfSiO<sub>4</sub>系)のHigh-kゲート誘電体膜をウェットエッチングする際に、露出しているSiO<sub>2</sub>膜との選択比を十分に保ち、且つHigh-k膜の高エッチングレートを保つため、非常に薄いフッ酸溶液を高温で処理するプロセスで特許を取得している。このような高温・長時間のプロセスでは、枚葉式の洗浄装置は十分な生産性が確保出来ない。また、High-k膜のメタル成分の転写が防げること、及び高温処理中の蒸発による非常に薄いフッ酸溶液の濃度変化が制御できることから、当社では同プロセスをバッチ式の遠心スプレー洗浄装置で展開している。

バッチ式遠心スプレー洗浄装置とは、図1に示すように多数のウェハ（200mmウェハでは100枚、300mmウェハでは50枚）を一括してプロセスチャンバー内に装填し、プロセスチャンバーの中心部から各種薬液を連続的に投射し、遠心力を利用して反応後の薬液やリンス水をチャンバー外周部に振り切るユニークな洗浄装置である。各種薬液は独自の薬液希釈・混合ユニットで処理直前に混合されるため、蒸発による濃度変化が少なく、また常に反応性の高い薬液をウェハ面に投入することが出来る。ウェハは水平方向に装填されるため、バッチ式でありながら枚葉式に近いプロセスが実現出来る。



図1：バッチ式遠心スプレー洗浄装置 ZETA®300

図2は同装置の特性を生かしたシリサイド形成後のメタル剥離プロセスにおけるウェハ間でのメタル転写性能を示したものである。各種シリサイドメタルの剥離処理中にモニターウェハを搭載し、処理後にメタル残留成分を測定している。W/Bと表示されているものがバッチ式浸漬洗浄装置での測定結果であり、一方Sprayと表示されているものがバッチ式遠心スプレー洗浄装置での測定結果である。

バッチ式浸漬洗浄装置では、メタル残留分が多く検出されているのに対し、バッチ式遠心スプレー洗浄装置では、コントロールウェハと同程度のメタルレベルしか検出されておらず、処理ウェハから剥離されたメタル成分がモニターウェハに再付着していないことを示している。

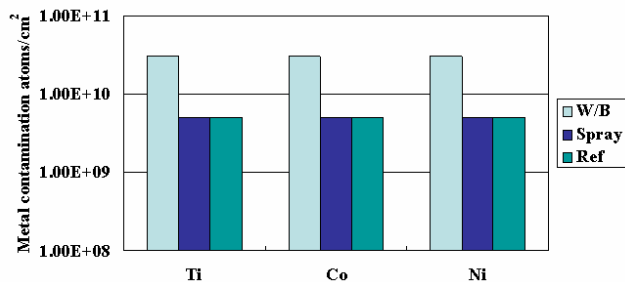


図2：バッチ式遠心スプレー洗浄装置でのメタル転写性能

上図はシリサイド形成後のメタル剥離プロセスでの結果であるが、同様にHigh-k膜のエッチングや、SiGeのチャンネルやメタルゲート電極等、メタル成分の転写が懸念される工程において、特に高温・長時間の処理が必要となる剥離工程ではバッチ式遠心スプレー洗浄装置に大きなアドバンテージがあり、採用されつつある。

#### 4. 微細ゲートパターンへの対応

最初の項で述べた通り、これまで述べてきた性能向上技術の導入は究極的な微細化と平行して進められていく。微細化の進行したデバイスで洗浄プロセスに対して最もセンシティブな工程は、スパーサー酸化膜をデポする前のゲートエッチング後の洗浄であろう。これまで広く採用されてきたMegasonicによる物理力を付加する洗浄方法ではゲートのパターン倒れの問題が顕在化しつつある。

前述のバッチ式遠心スプレー洗浄装置はMegasonicなどの物理力を付加しないプロセスであり、ゲートのパターン倒れなどの問題は発生しない。しかしながら、化学的に下地膜をエッチングしてリフトオフにより異物を除去するプロセスであるため、何度も繰り返し使うようなプロセスではエッチングロスの一層の低減が求められている。そのようなプロセス開発を進める一方<sup>(2)</sup>、当社では全く新しい洗浄プロセスを市場に投入している。

極低温エアロゾル洗浄プロセスである。極低温エアロゾル洗浄プロセスとは、アルゴンや窒素の固体粒子をウェハ面上の異物に衝突させ、物理的な作用により異物をウェハ面上から除去する方法である。図3にプロセスの概念図を示す。

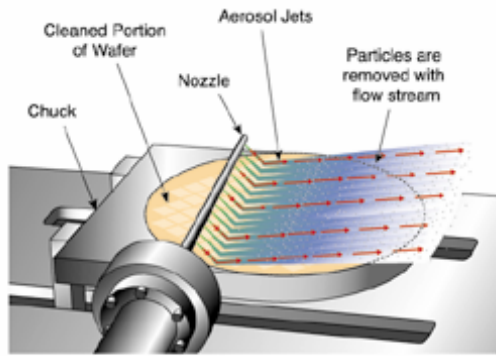


図3：極低温エアロゾル洗浄プロセス

不活性ガスであるアルゴンや窒素は一切化学反応を起さないため、下地膜のエッチングロスやその均一性を気にする必要がない。極性を持たない固体粒子はチャージダメージがなく、また微細なパターンへの物理的なダメージを抑えながら、選択的に欠陥異物を除去することが出来る。薬品のみならず純水自体を使用しないことから、疎水性表面のウォーターマークや Porous Low-k膜の吸湿の問題も回避できるという利点をも併せ持っている。

図4はスパーサー酸化膜のないPoly SiゲートのLine & Spaceパターンにおけるダメージ制御の結果を示している。従来条件において多数検出されているPoly Siゲートのパターン飛びが、最適条件では全く検出されていない。本条件下で、欠陥異物の除去性能は他の洗浄方式に比べて高い優位性をもつことが確認されている。

(a) 従来条件によるダメージ



(b) 最適条件によるダメージの解消



図4：微細ゲートPoly構造への対応

## 5. おわりに

LSIの性能向上技術に伴う新材料のFEOLプロセスへの導入と、それと平行して進む究極的な微細化に対して、求められる洗浄技術の一端とその対応策について報告を行なった。また今回紹介しなかったが、当社ではバッチ式浸漬洗浄装置における微細パターンへのダメージ低減プロセスの開発にも注力している。

当社としては、これらユニークな装置群の単独或いは組合せにより、来る65nmノードで課題となる各種洗浄プロセスに対応していくと共に、新規材料との高選択比を持った薬液開発で、洗浄プロセスにおいて大きな役割を担う薬品メーカー殿、また実際のLSI性能及び量産ラインにおける生産性を検証して頂くデバイスメーカー殿と、より一層、密接な関係を構築して各種課題に取り組んでいきたい。

### 参考文献

- (1) 木村：「次のプロセスシナリオは寸法では決まらない」：SPECIAL FEATURE, 日経マイクロデバイス2005年2月号
- (2) Scott Becker：「量産版65nmの実力-45nm技術の突破口」：日経マイクロデバイス2004年11月号