

最新の半導体洗浄技術動向

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

45nm以降のテクノロジーノードを見据えた開発が進んでいる昨今、半導体製造工程の凡そ30%を占める洗浄工程への要求は高度化、多様化している。2003年のITRSロードマップのうち洗浄技術に関連する項目を抜粋した資料を図1に示す。

Production Year	2003	2004	2005	2006	2007	2010	2013	2016
Technology Node	DRAM	hp90	80	70	hp65	hp45	hp32	hp22
DRAM ハーフピッチ (nm)	100	90	80	70	65	45	32	22
Wafer Size (mm)	300			450				
Critical Particle 径 (nm)	50	45	40	35	32.5	22.5	16	11
Critical Particle 数 (#/wf)	59	75	97	64	80	86	195	106
Si/SiO ₂ Loss per Cleaning (A)	1.2	1.0	0.8	0.7	0.5	0.4		
FEOL	ゲート電極		Poly Si or Poly SiGe			Ta, Ru, Pt, Ir		
	ゲート絶縁膜		SION			Hf, Zn Based La ₂ O ₃ , Y ₂ O ₃		
	キャパシタ電極		TiN			W, Pt, Ru, RuO ₂ , IrO ₂		
	キャパシタ絶縁膜		SION			Ta ₂ O ₅ , Al ₂ O ₃ , BST, STO		
BEOL	メタル層数 (MPL)		9	10	11	12		
	誘電率 (MPU Bulk)		3.6-4.1		3.1-3.6	2.7-3.1		2.0-2.4

図1：ITRSロードマップからみる洗浄技術課題

DRAMハーフピッチサイズは量産プロセスとして2007年に65nm、2010年に45nm、2013年に32nmへと3年スパンで微細化が進行していき、特に脆弱になるゲートパターンに対するダメージケアがより一層重要となってくる。

除去対象となる微小粒子のサイズはハーフピッチの半分といわれており、2007年に32.5nm、2010年に22.5nm、2013年に16nmとなる。粒子サイズが小さくなるほど除去性能は劣化していくため微小粒子の除去性能向上が求められている。

洗浄に伴う下地膜のエッチングロス許容量は65nmノードで0.5A、それ以降は0.4Aとなり、従来のRCA洗浄によるリフトオフ作用を主とした洗浄プロセスでは限界に近づいており、リフトオフ作用の必要ない薬液開発や物理力を加味した洗浄プロセスの開発が求められる。但し、物理力を用いる場合、前述の微細パターンに対するダメージケアを同時に考慮しなければならない。

FEOLプロセスでは、テクノロジーブースターと呼ばれる微細化とは異なるトランジスタの性能向上技術に用いられる新材料が続々と導入される。歪みSiを形成するためのGeや、High-kゲートに用いられるHf系シリケートのほか、電極材としてPt、Ru、Ir、キャパシタ絶縁膜としてTaなど、金属材料がFEOLプロセスに大挙して押し寄せてくるような印象である。これらの金属材料の剥離プロセスには高温処理、高選択処理、クロスコンタミ制御などが要求される。

BEOLプロセスでは後ろ倒しが続いていたポーラスLow-k膜の採用が進み、本格的に量産プロセスとして確立していくことになる。K値にダメージを与えない洗浄プロセスや、疎水性となる有機系Low-k膜に対するウォーターマークへの対応も必要となってくる。

これらの洗浄技術に対する課題を以下のように纏めてみる。

- ① 微細構造に対するダメージ制御
- ② 微小粒子の除去性能向上
- ③ 露出膜のエッチングロス低減
- ④ FEOLメタル新材料への対応
- ⑤ 有機系及びポーラスLow-k膜への対応

薬品メーカー及び洗浄装置メーカーはこれらの課題に対しさまざまな施策を検討し、また開発を進めているが、本稿では当社が考える対応策及びそれを実現する当社の装置技術について一例として紹介を行う。

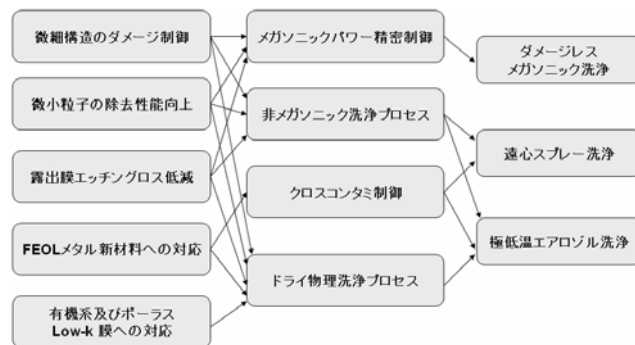


図2：洗浄技術課題への対応策とその実現装置技術

図2に洗浄技術課題への対応策とそれを実現する装置技術について関連付けをおこなった一覧図を示す。3つの装置技術に集約する。ダメージ制御をおこなったメガソニック洗浄、メガソニックを用いないクロスコンタミ制御に優れた遠心スプレー洗浄、ドライ物理洗浄に属する極低温エアロゾル洗浄の3つである。

メガソニック洗浄は浸漬式、枚葉スピン式のどちらの装置でも適用出来るがここでは浸漬式装置でのWorkについて紹介する。メガソニックプロセスは波動的物理的な力を利用して微小粒子を効率良く除去することが可能であり、下地膜のエッチングロス低減にも寄与するが、昨今、微細化の進行した脆弱なゲートパターンでのダメージが問題となっている。波の干渉により槽内での強度分布にバラツキが生じ、強度が強めであった領域でダメージが発生する。当社ではメガソニック振動子とウェハとの間に特殊な音響分散版MegaLens™を設置することにより、音響強度を均一化することに成功した。図3にその効果を示す。

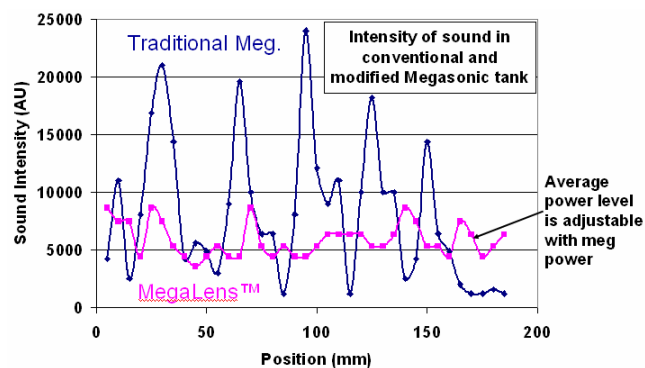


図3：MegaLens™の導入による音響強度の均一化

局所的な強度ピークをなくすことにより、ダメージを与えずに微小粒子を除去する最適な強度の均一性のよいメガソニックを基板表面に印加することが可能となる。

また、ダメージを抑えながら微小粒子の除去性能を高める場合、溶液に含まれる溶存ガス量の制御も重要である。メガソニックを印加する際、溶液の溶存ガス量が少なすぎると十分なキャビテーションが発生せずに微小粒子の除去性能は劣化する。一方、溶存ガス量が多すぎるとメガソニック振動子の近傍でガスの消費がおこなわれてしまうため、やはり除去性能は劣化する。ウェハ基板表面でキャビテーションが発生しやすくするように溶存ガス量を最適な値に調整することが必要となる。また溶存ガスの種類によっても特性が異なってくる。

遠心スプレー洗浄プロセスはメガソニックを用いない洗浄プロセスであり、浸漬式のメガソニック併用プロセスで見られるような微細構造パターンへのダメージは発生しない。しかしながら、公転式に回転するウェハの回転速度を加速・減速することによりウェハ表面での液盛り、不純物の拡散、水膜の振切りを何度も繰り返すことにより微小粒子の除去性能を高めている。本プロセスはバッチ式の処理能力を持ちながら、枚葉スピンドル式と遜色のないクロスコンタミ性能を達成することが出来るため、高温・長時間処理が必要で、且つクロスコンタミが懸念されるFEOLメタル新材料の剥離プロセスに非常に適している。Hfシリケート系のHigh-k膜のエッチングや、Ni或いはNiPtシリサイド膜の剥離、SiGeが露出した工程でのレジスト剥離やゲート残渣除去プロセスで多数採用されている。

極低温エアロゾル洗浄プロセスは、ドライ物理洗浄プロセスである。薬品を使わないため露出膜のエッチングロスが発生せず、また純水を使わないことによりウォーターマークやチャージダメージ、ポーラスLow-k膜での吸湿の問題がない。また当然のごとくメタル成分のクロスコンタミの懸念もない。使用ガスをアルゴンから窒素に変更し、且つプロセスを最適化することにより微小なエアロゾルを多数形成することが可能となった。これにより微細なゲートパターンに対するダメージも制御でき、より小さな微小粒子の除去性能を向上することにも成功している。さまざまな工程において歩留まりを低下させる微小欠陥異物の選択除去装置として多くの先端Fabで導入されている。

45nmノード以降の洗浄技術課題を抽出し、その対応策と実現装置技術について紹介をおこなった。今後ますます高度化・多様化する洗浄技術への要求に対して装置メーカーとして、またデバイスメーカー殿、薬品メーカー殿からの協力を仰ぎながらソリューションを提供していきたい。

以上