

# 65 nm ノード以降に対応する 微細化・高生産性エッチング装置

## Micro-Fabrication and High-Productivity Etching System for 65-nm Node and Beyond

堤 貴志 Takashi Tsutsumi  
角谷 匡規 Masanori Kadotani

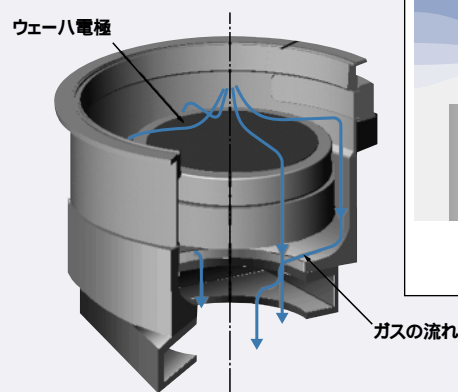
斉藤 剛 Go Saito  
森 政士 Masahito Mori



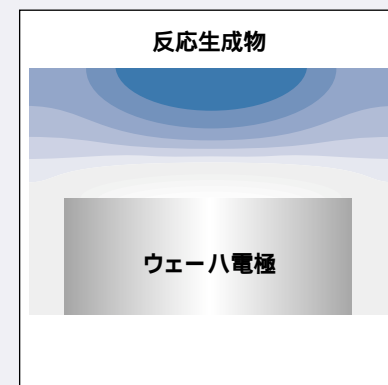
(a) 8000シリーズ



(b) 7000シリーズ



(c) エッチングリアクタのガス流れと反応生成物の分布



高均一化の実現

### 300 mm エッチング装置と電極直下に排気ポンプを設置したエッチングリアクタ内のガス流れ、反応生成物の均一性

電極直下にTMP (Turbo Molecular Pump) を設置したエッチングリアクタを搭載する「8000シリーズ (a)」と「7000シリーズ (b)」は、実効排気速度の向上により、微細化に最適な大流量・低圧プラズマを形成することができ、ガス流れ、反応生成物の軸対称化によって高均一なエッチングが可能となる。

最先端の半導体デバイスでは、65 nm ノードの量産が始まろうとしており、すでに45 nm ノード以降の開発も始まっている。これに伴い、高度な微細化や精度向上技術が要求され、新材料への対応や量産安定性の確立も必須になってきている。このような背景の下で、株式会社日立ハイテクノロジーズは、微細化・高精度性と高生産性をコンセプトに、65 nm ノード以降のデバイスに対応したエッチング装置およびエッチングプロセスを開発した。300 mm ウェーハのエッチングで、ウェーハの面内均一

性を向上させるために、エッチングリアクタの排気速度の均一化や電極の温度差制御機構も導入した。また、レジスト露光装置の露光限界を超えた寸法に対応できるレジストリミング技術を開発した。さらに、作業性の向上やメンテナンス時間の短縮など、低CoO (Cost of Ownership) が実現できるエッチングリアクタを設計開発し、45 nm ノード以降にも対応できるシリコンエッチング装置を目指している。

## 1 はじめに

半導体デバイスメーカーでは、65 nm ノードデバイスの量産へ向けた開発が進められており、2006年には65 nm ノード、300 mm ウェーハの量産が始まろうとしている。そして、すでに45 nm ノードデバイスの開発も着手されつつある。ITR (International Technology Roadmap

for Semiconductors)<sup>1)</sup>によれば、MPU (Microprocessor Unit) における物理ゲート長は、65 nm ノードで25 nm、45 nm ノードで18 nmと予測され、これはリソグラフィの限界を超えたスケールになる。特にゲート構造では、トランジスタの高速化のために、チャネルの移動度を高くする歪みシリコン<sup>2)</sup>や、低消費電力に向けたHigh- $k$ ゲート絶縁膜、メタルゲート電極といった新構造や新材

料の開発が進められている。エッチングプロセスでも ITRSでは、65 nmノード以降で、25 nm以下のゲート長加工で1 nm(3)以下の精度を要求しており、レジストリミング技術<sup>3)</sup>など、いっそう高度な微細加工技術や新材料の加工技術<sup>4)~7)</sup>を求めている。さらに300 mmウェーハでは、ウェーハ面内均一性の精度向上が重要な課題になる。また、加工寸法の再現性への要求もますます厳しくなり、ロット内・ロット間や装置クリーニング前後での安定したエッチング特性が要求されている。

株式会社日立ハイテクノロジーズは、現在65 nmノード以降300 mmウェーハのデバイス量産に向けた8000シリーズと7000シリーズを提供している。この装置は、高密度プラズマのマイクロ波(2.45 GHz)ECR( Electron Cyclotron Resonance)と、低圧・中密度プラズマのUHF( Ultra High Frequency )(450 MHz)ECRをそろえている。特にシリコンエッチング装置、そしてAI配線用のメタルエッチング装置に対応する。

ここでは、最先端デバイス市場からの技術要求とともに、顧客ニーズに対応して開発を進めてきたプロセス技術と、量産性の向上を図ったシリコンエッチング装置について述べる。

## 2 エッチング均一化向上技術

### 2.1 電極直下排気構造による均一化

エッチングリアクタの概略を図1に示す。排気用ポンプはウェーハ電極直下に設置するリアクタ構造を採用し、リアクタとウェーハ搬送用ゲートバルブの形状は、軸対称性を高める設計とした。

このリアクタを用いたエッチングガスの流れシミュレーションを図2に示す。エッチング時の排気によるエッチャント、反応生成物の分布の偏りがなく、ウェーハ面内範囲において、軸対称性と均一性が得られている。これにより、エッチング形状の面内軸対称性が向上し、高い面内均一性が得られる。

### 2.2 ウェーハ温度制御技術

ウェーハの温度は、エッチングの加工形状を決めるうえで重要な要素である。例えば、ウェーハの面内温度を均一にしても、エッチングの反応生成物がリアクタ内で分布を持つため、最終的なエッチング形状もウェーハ面内で分布を持つことが多い(図3参照)。また、積層構造の被エッチング膜では、各膜についても分布が異なる。特に反応生成物の分布は、リアクタ中心部より外周部が希薄になりやすく、エッチング形状のCD( Critical Dimension)シフトは、ウェーハの中心部が大きく、外周部が小さくなる傾向にある。この対策として、エッチング

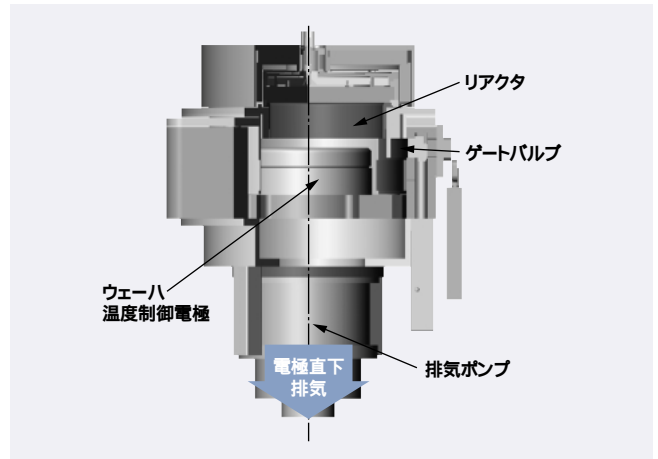


図1 エッチングリアクタの断面図  
ウェーハ面内均一性向上とメンテナンス性向上を目的とし、電極直下への排気ポンプの設置と部品のスワップキット化による新しいエッチングリアクタを開発した。

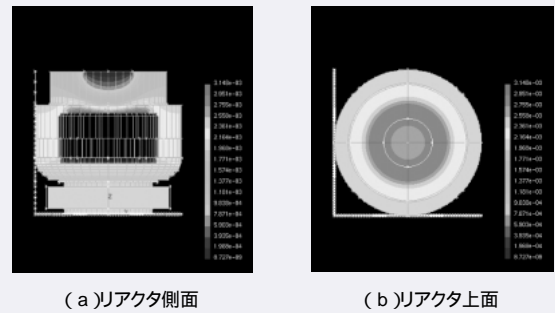
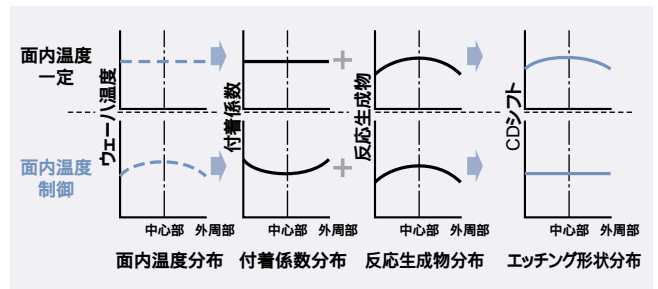


図2 ガス流れシミュレーションの例  
塩素ガス流量200 sccm(standard cubic centimeter/min),リアクタ内圧力0.4 Paを条件とした時のリアクタ内のガス流れのシミュレーションにより、リアクタ面内のガス流れ分布が同軸対称であることを示している。

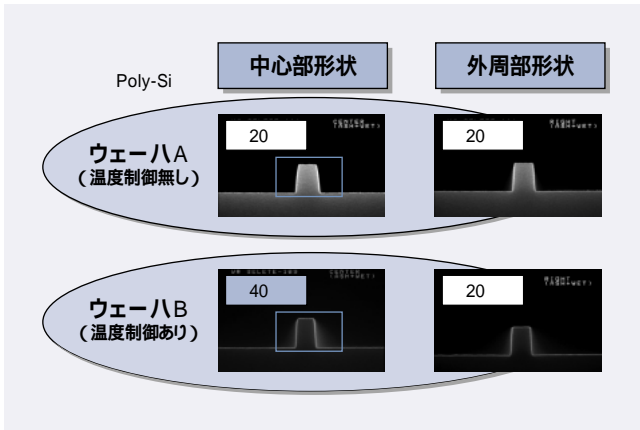


注:略語説明 CD( Critical Dimension)

図3 ウェーハ面内温度によるエッチング形状分布の概念  
ウェーハ面内の温度分布と気相中の物質によって、エッチング形状の面内分布が決まる。

中のウェーハ温度を中心部と外周部で独立に制御し、形状の面内均一化を図る温度制御電極機構を開発した。この機構による検証結果を図4に示す。

まず、外周部の温度を一定にして、中心部の温度を変えたポリシリコン(Poly-Si)をエッチングした。面内温度が一定のウェーハでは、反応生成物の濃度が高い中心部と、低い外周部を比較すると、中心部のエッチング形状がテーパ形状になっている。中心部の温度を40



注: Poly-Si(ポリシリコン)

図4 中心部温度制御時のPoly-Siエッチング形状の例  
中心部のウェーハ電極温度を20 (ウェーハA)から40 (ウェーハB)にすることで,ウェーハ中心のエッチング形状寸法がウェーハ外周部の寸法に近づき,ウェーハ面内の均一性が向上する。

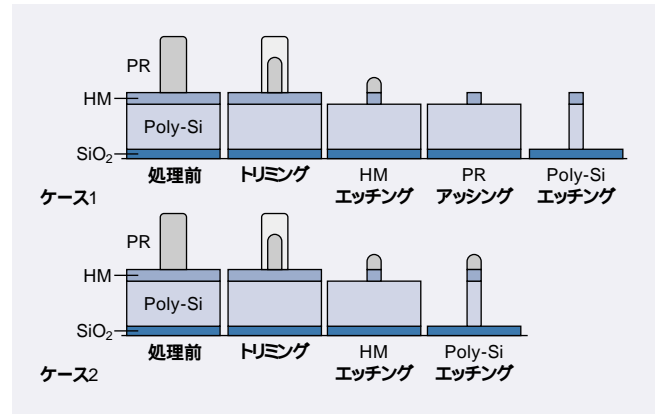
に高したウェーハBは,中心部の被エッチング部への反応生成物の再付着が低減され,垂直性が向上して,面内のCD-Biasのばらつきが2 nm(3%)という高い面内の加工精度が得られる。また,これらの面内温度は,加工材料によって最適な温度分布が異なることから,加工材料に対応したウェーハ温度分布に制御可能な電極機構を開発した。

### 3 レジストトリミング技術

ArF(193 nm)露光装置とそれに対応するレジスト材料は,量産への準備が整い,65 nmノードのプロセスで採用され始めている。また,液浸ArF露光装置も登場し始め,リソグラフィ技術も向上している。しかし,露光による65 nmノードに必要なゲート長の寸法確保や,ラインエッジラフネス(LER:Line Edge Roughness)など多くの課題を持つ。したがって,65 nmノードの量産に対応するためには,エッチングでゲート寸法の制御やゲート長のばらつきを抑えることが大きな優位技術になる。このような状況の中で65 nmノード以降の微細なゲート長に対応できるプロセスとして,レジストトリミングプロセスを開発した。

レジストトリミングのプロセスフローの例を図5に示す。ケース1は,まずArF露光で得た寸法のレジストをエッチングによって要求の35 nmまでトリミングした後,ハードマスクのエッチング,続いてレジストアッシングを行い,ゲート電極のポリシリコンを垂直にエッチングしたものである。ケース2は,ケース1でのレジストトリミング後に,レジストを残したままポリシリコンをエッチングしたものである。

時間によってトリミング量を制御した時のポリシリコンエッチングの特性を図6に示す。トリミング量が,時間に対して比例関係にあり,パターンの疎部と密部との間で



注:略語説明 HM( Hard Mask ),PR( Photo Resist )

図5 レジストトリミングを含むゲートエッチングフローの例  
レジストトリミングを含むゲートエッチングのフローは,レジストのアッシングの有無で異なる。

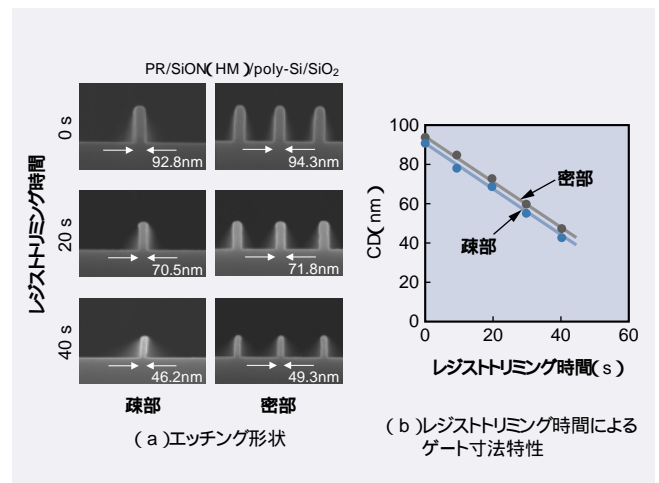


図6 レジストトリミングの時間依存性  
レジストトリミング時間に対するポリシリコンエッチングの寸法は,比例関係を示し,時間によってトリミング量を制御することが可能である。

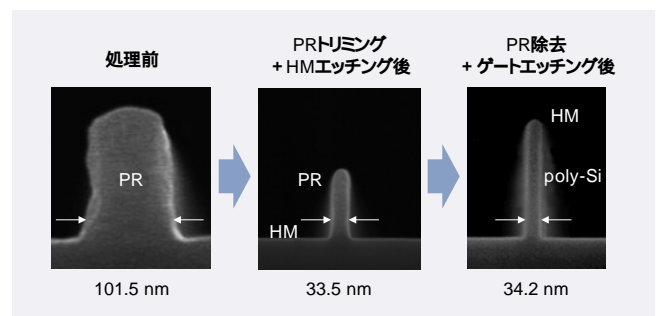


図7 レジストトリミングによる35 nm Poly-Siゲート形状  
ケース1(図5参照)のエッチングフローを用いて,初期寸法101.5 nmのレジストパターンから寸法34.2 nmのゲート電極を加工することができる。

形状寸法差のほとんどないトリミングが可能である。

これらのレジストトリミングによる35 nmゲート長の加工例を図7に示す。露光寸法100 nmのレジストを目標の35 nmまでトリミングした後,図5のケース1でポリシリコンを垂直にエッチングしたものである。以上のことから,ArF露光の限界に対応した微細なゲート電極加工を実現することができる。

## 4 量産性を重視した新エッチングリアクタ

半導体デバイスメーカーは、微細化、高精度化によるデバイスの性能向上と並行して、量産における製造量の増加、製造コストの低減などを重要視している。したがって、これからのエッチング装置は、安定した量産性と低いCoO( Cost of Ownership)を提供しなければならない。量産の安定性については、エッチングリアクタ内部の材質をプラズマに強い材料で構成することと、APC(Advanced Process Control)システム<sup>8)</sup>を用いてリアルタイムにエッチング状態を監視し、常に安定したエッチング環境を提供することで対応できる。CoOの低減については、上述の効果に加え、エッチング装置のメンテナンス時に要する非稼働時間の短縮による効果大きい。

エッチングリアクタの分解フローを図8に示す。石英のパーツなどのリアクタ内部の各部品は、取り外してクリーニングが可能である。また、あらかじめ用意した部品と交換すること(スワップ化)により、作業性とメンテナンス時間の短縮を向上させている。さらに、メンテナンス時には、リアクタ部分だけを大気開放するクリーニングが可能である。この時、同一エッチング装置の他のリアクタでは、継続的なエッチング処理をすることが可能である。また、リアクタ内部品の70%をスワップキット化することと、新しいリアクタ構造により、1リアクタ当たりのメンテナンス時間が従来比で約50%に短縮できる。このようなリアクタ構造により、生産性を飛躍的に向上させることができる。

## 5 おわりに

ここでは、65 nmノード以降の微細化に対応し、高精度かつ高生産性が得られるシリコンエッチング装置について述べた。

製品化したシリコンエッチング装置は、国内外での実績も上がってきている。また、エッチング装置のインテリジェント化に向けたAPCシステムは、すでに一部顧客にも導入されて実績を重ねつつある。今後、いっそうの微細化に伴い、シリコンエッチングへの要求は、ますます厳しくなることが予想されており、同一装置の多品種、多世代にわたるデバイスへの適用も必要になると考えられる。

株式会社日立ハイテクノロジーズは、これからも、微細化や新材料に向けた高精度なシリコンエッチング装置、およびAPCシステムのセンシング技術の拡充と向上のため、さらに開発を進めていく考えである。

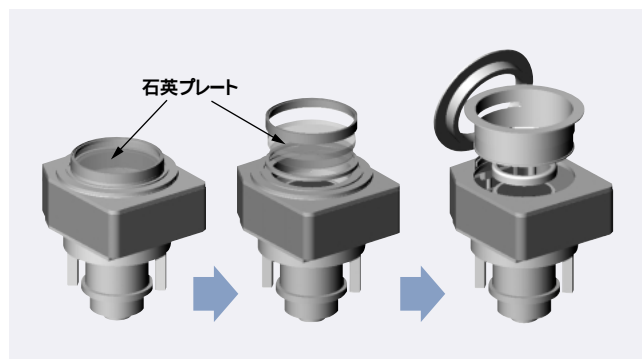


図8 エッチングリアクタの分解フロー  
石英プレートなどの各パーツを取り外し、予備部品と交換することによって、作業性を向上し、メンテナンス時間を大幅短縮する。

### 参考文献

- 1) International Technology Roadmap for Semiconductors 2004Update
- 2) K.Mistry, et al.:Proc.Symp.VLSI Tech, p.5Q(2004)
- 3) M.Hayashi, et al.:SEMI Techn.Symp., p.6-3Q(2004)
- 4) J.P.Chang:Proc.ISAPS, p.271(2003)
- 5) K.Takahashi, et al.:Proc.Symp.Dry Process, p.36Q(2004)
- 6) A.Miller, et al.:Proc.ICMI-AVS Conference, p.7X(2004)
- 7) N.Yamagishi, et al.:Symp.Dry Process, 4-3(2003)
- 8) 幾原, 外:アクティブAPCシステム搭載高精度エッチング装置, 日立評論, 86, 7, 485~488(2004.7)

### 執筆者紹介



#### 堤 貴志

1997年日立製作所入社, 株式会社日立ハイテクノロジーズ 半導体製造装置営業統括本部 プロセス製造装置営業本部 アプリケーション技術部 所属  
現在, ドライエッチング装置のアプリケーション開発に従事  
応用物理学会会員  
E-mail:tsutsumi-takashi@nst.hitachi-hitec.com



#### 角谷 匡規

1993年日立製作所入社, 株式会社日立ハイテクノロジーズ ナノテクノロジー製品事業本部 笠戸事業所 装置設計部 所属  
現在, ドライエッチング装置の開発および設計に従事  
日本機械学会会員  
E-mail:kadotani-masanori@sme.hitachi-hitec.com



#### 斉藤 剛

1990年日立製作所入社, 株式会社日立ハイテクノロジーズ ナノテクノロジー製品事業本部 笠戸事業所 プロセス設計部 所属  
現在, ドライエッチング装置のプロセス開発に従事  
E-mail:saito-go@sme.hitachi-hitec.com



#### 森 政士

1994年日立製作所入社, 中央研究所 ソリューションLSI 研究センタ 先端技術研究部 所属  
現在, ドライエッチング装置の研究開発に従事  
応用物理学会会員, American Vacuum Society 会員  
E-mail:m-mori@crl.hitachi.co.jp