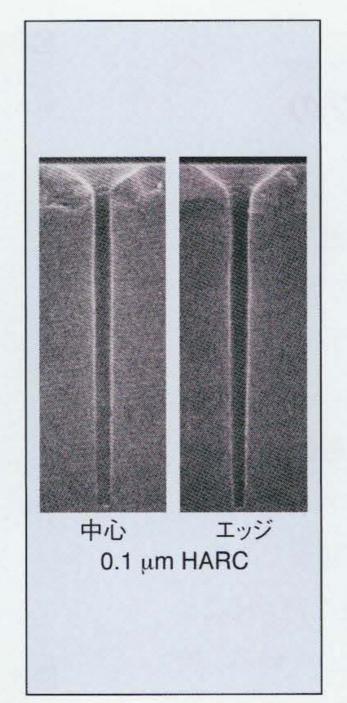
次世代プロセス対応の UHF-ECR方式絶縁膜エッチング装置

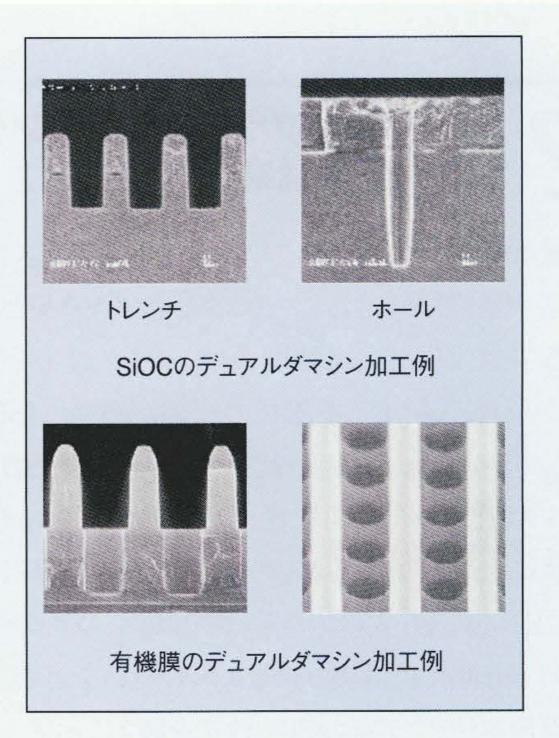
UHF-ECR Plasma Etching System for Dielectric Films of Next-Generation Semiconductor Devices

渡辺 克哉 Katsuya Watanabe 横川 賢悦 Ken'etsu Yokogawa

豊 Yutaka Ômoto 牧野 紘之 Hiroyuki Makino







(a) UHF-ECR方式絶縁膜エッチング装置 "U-722" の外観

(b) エッチング加工例

注:略語説明 UHF-ECR(Ultra High Frequency Electron Cyclotron Resonance), HARC(High Aspect Ratio Contact)

次世代プロセス対応のUHF-ECR方式絶縁膜エッチング装置の外観(a)と加工例(b)

HARC(深穴)加工やCuダマシンプロセスの層間絶縁膜のエッチング装置として、良好な形状制御性を持ち、300 mm径ウェーハで90 nmおよび65 nmノードデバイスに対応して いる。

半導体デバイスの微細化に伴い、絶縁膜エッチン グ装置には、CD(微小寸法)制御性に優れ、安定した 加工が要求されている。

90 nm世代の半導体デバイスの絶縁膜エッチング の課題として、(1)アスペクト比20以上のHARC (High Aspect Ratio Contact) 形状制御, (2) ゲート 用のArF・ハード マスク エッチングでのCD制御,(3) ダマシンプロセスに用いられるk値2.5以下のLow-k材 に対応するエッチングがあげられるように、絶縁膜のエッ チングに対するニーズは非常に高度化している。

日立グループは、このようなニーズにこたえるために、 プラズマ制御性に優れたUHF-ECR(電子サイクロトロ ン共鳴)方式のエッチング装置を開発した。

この装置は200~300 mm径ウェーハに対応してお り、HARC、ゲート マスク エッチング、および無機・有 機Low-k材料へのダマシンプロセスのエッチングに適 用され、顧客の性能判定の結果、受注につながってい る。また、量産ラインで多くの実績を持つ「700シリー ズ」および「600シリーズ」と共通のベースフレームを採 用することにより、高い信頼性を確保している。

はじめに

ユビキタス情報社会を支えるディジタル機器には、 高機能を 集積した半導体デバイスが不可欠である。このような半導体

デバイスを製造するために、100 nmレベルでの構造の微細 化と新しい材料の導入が進みつつあり、エッチング(食刻)加 工技術へのニーズはますます高度化している。

特に、絶縁材料の加工は、トランジスタのスピードを決める ために高い寸法精度が要求されるゲートマスク加工,メモリ

の大容量化のために高いアスペクト比が求められるトランジスタのコンタクト孔加工, さらに, 配線層間絶縁膜に使われ始めた新しい材料である低誘電率(Low-k)材料へのビアホール(上下配線の接続穴)やトレンチ(溝)のデュアルダマシン加工など, 数多くの適用工程がある^{1).2)}。

ここでは、これら絶縁膜用エッチングの高度で多様なニーズにこたえるために開発した次世代プロセス対応UHF-ECR (Ultra High Frequency Electron Cyclotron Resonance)方式のエッチング装置の特徴と、プロセスでの適用例について述べる。

UHF-ECRプラズマエッチングの 特徴と装置構成

絶縁膜エッチングは、フルオロカーボンガス(過フッ化炭化水素)の解離種によるエッチングと堆(たい)積との競合で進行する。したがって、高精度のエッチング加工を行うためには、ウェーハに入射する解離種の制御が必要になる。その中でも、CF₂/Fラジカル(活生種)比はマスクや下地との選択比と高アスペクト比ホールの開口性に、CF₂ラジカル対イオン比は加工形状にそれぞれ影響するので、これらの制御は重要である。

UHF-ECR方式のエッチングでは、この制御性を高めることで90 nm世代以降のプロセスへの対応を可能としている。絶縁膜用エッチング室の概略構造を図1に示す。この方式の特徴は以下のとおりである。

(1) 450 MHzのUHF波と磁場により、ECRプラズマを形成する。これは、微細加工時に必要な低ガス圧力から中ガス圧力領域で、中密度から高密度のプラズマを安定に形成できるという特徴を持つ。UHF帯の周波数の使用によってフルオロカーボン系ガスの解離を抑えて過剰Fの生成を抑えられる³⁰。これにより、対マスク選択比と高アスペクト比加工の両立が可能となる。

また、コイル電流によってECR面を制御し、プラズマの分布 を制御することが可能である(図2参照)。これにより、さまざ

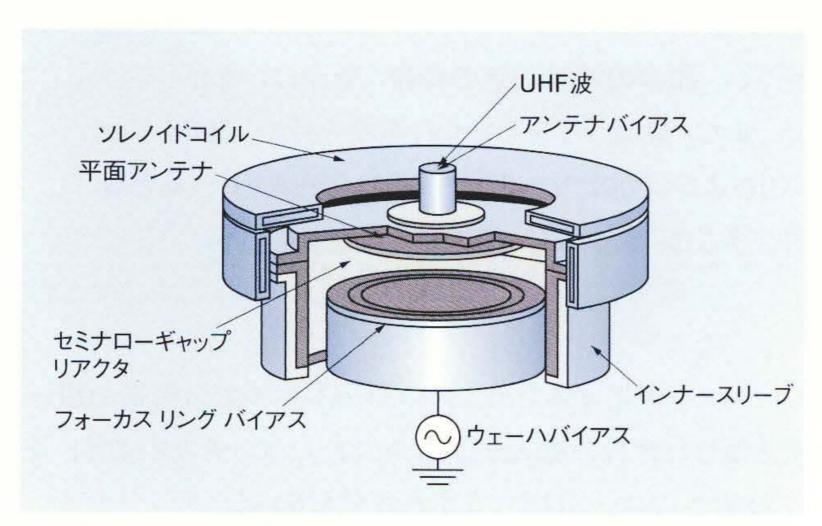


図1 エッチング室の構造

平面アンテナから導入されたUHF波とソレノイドコイルによる磁場の相互作用により、低圧から中圧領域で中密度の安定したプラズマが生成される。

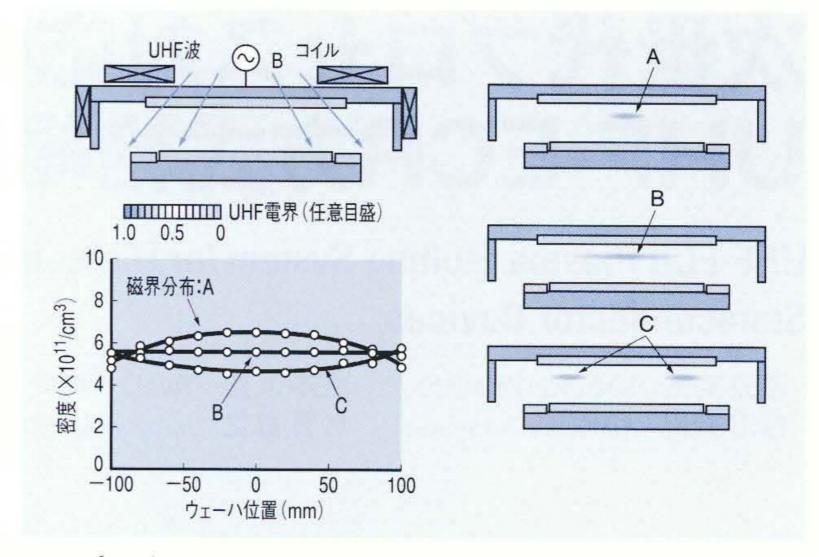


図2 プラズマ分布制御の原理

コイル電流で高密度プラズマの生成場所をA←B→Cと変えることにより、プラズマの分布制御が可能となる。

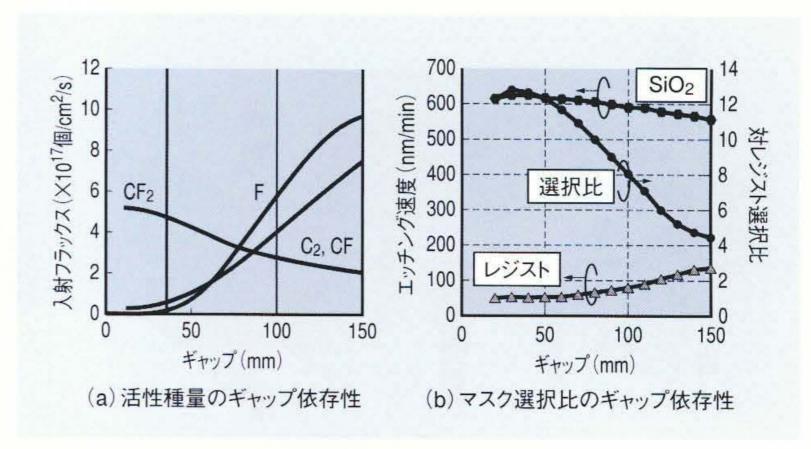


図3 ギャップによるプラズマ中の活性種制御

ナローギャップ領域では、対レジスト選択比が大きくとれる。ワイドギャップ領域では、 CD制御性と垂直性が優れている。

まな処理条件においてウェーハ面上で均一なプラズマ性能が得られる。

(2) UHF波を平面アンテナで導入し、アンテナとウェーハ間のギャップを30~100 mmとしたセミナローギャップ構造としている。このギャップを可変とすることで、プラズマ中のラジカル比を制御することができる(図3参照)。UHF-ECR方式のエッチングでは、プラズマはアンテナ下約20~30 mmの範囲にECR加熱領域と、その下側の拡散領域を形成する。ECR加熱領域ではCF₂とイオンを多く発生させ、その下側の拡散領域ではFラジカルを多く発生させる。

したがって、ギャップを小さくするとCF₂/F比が大きくなり、 対レジスト選択比が大きくとれる。ギャップを大きくすると、 CF₂/F比が小さくなり、CD(Critical Dimension:微小寸法) 制御性と垂直性に優れたプラズマが生成される。

これらの特徴により、UHF-ECR方式のエッチングでは、ギャップとアンテナバイアスをUHFパワーとは独立に制御することが可能となり、CF2/FやCF2対イオン比の制御によってホール加工やマスク加工、ダマシンプロセスでのビアホールやトレンチ加工などのプロセスニーズに応じた最適化が容易となる。

また、壁から離れてプラズマを生成することにより、壁材料のプロセスへの影響を最小限にとどめることができる。

HARCエッチングプロセス

HARC(High Aspect Ratio Contact:高アスペクト比接触) エッチングプロセスで求められる要件は以下のとおりである。

- (1) 垂直加工形状の確保
- (2) マスク材料[PR(レジスト)]との高選択性
- (3) CDシフト量の制御

ホール加工では、フルオロカーボン系ガスの解離バランスを CF₂/Fリッチ側に制御し, 高アスペクト比ホールの開口性, 垂 直形状,マスクや下地との選択比を両立させることが重要で あるも。

UHF-ECR方式のエッチングでは、ギャップを小さくすること により、フルオロカーボン系ガスの多重解離を抑制し、CF2/F 比を大きくとれる。また、アンテナバイアスを制御することで余 剰Fをシャワープレート材のSiと反応させ、CF2/F比を制御す ることができる。これにより、ホールの開口性と対マスク選択比 の両立が可能となる。

また, 低圧領域を使用することにより, 垂直形状を容易に 得ることができる。

0.1 μmホールでアスペクト比20以上の加工例を図4に示す。

ゲートマスクのエッチングプロセス

ゲート寸法の微細化に伴うゲート用ハード マスク エッチン グでの高精度の加工と寸法制御を実現するための要件は以 下のとおりである。

- (1) 垂直加工形状の確保
- (2) 下地材料(WSi, 多結晶Si)との高選択性
- (3) CDシフト量の制御
- (4) プラズマ耐性が低いArFレジストマスクへの対応

マスクエッチングでは、BARC (Bottom Anti-Reflection Coating), BARL (Bottom Anti-Reflection Layer), SiN, およびTEOS(テトラエトキシシラン)の垂直加工形状確保と CDシフト量の適切な制御が目的となる。エッチング形状とCD シフト量は縦方向と横方向のエッチングレートで決まるので、 エッチング中のエッチャント(腐食液)成分と堆積成分のバラン ス制御が重要である。

UHF-ECRエッチングでは、低圧で中密度のプラズマを生 成することが可能であり、これによって垂直加工形状を確保 することができ、CDシフト量の低減が図れる。また、ゲートマ スク工程では、CDシフト量の低減と下地材料との選択比確保 のためにステップエッチが必須であることから、磁場とアンテナ バイアスを用い、各ステップでレート分布の調節を行うことによ り、CDシフト量の面内差を5 nm以下に抑えることができる。

ArFレジストはプラズマに対する耐性が弱いので、ウェーハ

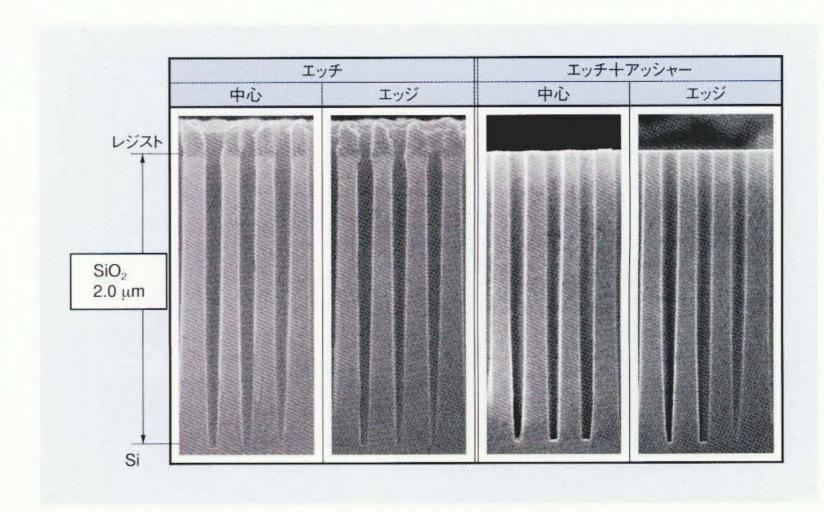
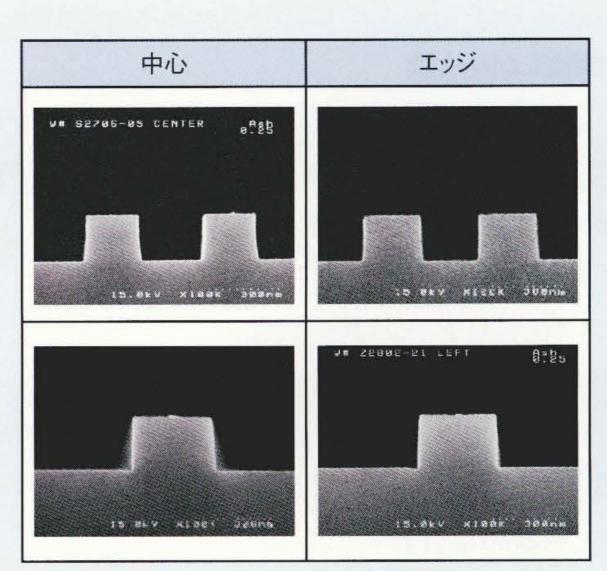


図4 0.09 μmHARCエッチングの加工例

ナローギャップ領域と低圧での加工により、垂直ボーイングレスと対レジスト高選択 比の両立を図った。良好な面内均一性も得られている。



ウェーハ仕様:BARC/SiN/SiO2

図5 ゲートマスクのエッチング例

低圧で処理することによって良好な垂直性とCD制御性を、磁場制御によって良 好な面内均一性をそれぞれ得ている。

温度を下げることが必要である。UHF-ECRエッチングでは、 低温領域でも低圧プロセスによって垂直加工性を確保するこ とができる。0.1 µmゲートマスクの加工例を図5に示す。

Low-k膜のエッチングプロセス

Low-k層間絶縁膜材料として、SiOFやSiOC、有機膜など、 各種の膜が検討されている。このため、膜の特性を損なわな いエッチングプロセスが容易に構築できるツールが求められ る。また、デュアルダマシン工程では、ビアホールとトレンチ形 状の一貫加工を行うための、特有の課題に対応したプロセス 構築が必要である。

UHF-ECRエッチングでは、ガス圧力とプラズマ密度を広範 囲で安定に形成することができるので、Low-k材のダマシンプ ロセスへの適用が容易になる。

無機膜と有機膜, それぞれへの適用プロセスについて以 下に述べる。

注:*SiLKは、The Dow Chemical Co.の商標である。

図6 有機膜のエッチング例

イオンエネルギーの独立制御により、対マスク肩選択比が大きく、残さのないエッ チングが可能となる。

5.1 無機Low-k膜

Low-k膜を適用する層間絶縁膜加工では、ビアホールとトレンチ加工プロセスが求められる。最初に、ビアホールのプロセスに求められる要件は以下のとおりである。

- (1) 加工形状の垂直性〔ボーイング(凹状変形) 防止〕
- (2) マスク材料(PR)との高選択性
- (3) 壁材料起因の異物による加工不良抑制 また、トレンチ加工プロセスに求められる要件は以下のとおりである。
- (1) 加工形状の垂直性
- (2) 形状異常(フェンス, サブトレンチ)防止
- (3) 膜への化学的なダメージ防止

これらは、それぞれ前述のHARCプロセスとゲート マスク エッチングに求められるものとほぼ同じである。

材料の特性によって科学的条件を若干調整する必要はあるが、基本的に、無機Low-k膜のビアプロセスにはHARCプロセスを、トレンチプロセスにはゲートマスクプロセスをそれぞれ適用することにより、最適なプロセスを構築することができる。

5.2 有機Low-k膜

有機膜のエッチングでは、垂直形状とマスクとの選択比に加え、残さを発生させないことが重要となる。有機膜のエッチングガスとしては、膜劣化防止と形状制御の必要性から、一般に水素系のガスが使われる。そのため、チャンバ壁がスパッタされると材料粒子がプラズマ中に放出され、残さや異物の原因となる。UHF-ECRエッチングでは高い周波数を使用しているので、壁面での陰極電位降下(Vdc)が小さい。そのため、アンテナバイアスの制御により、アンテナ表面へのデポジションを抑制しながらスパッタを最小に抑えて、残さや異物の少ない、安定したプロセスを実現している。

このプロセスでは、ウェーハバイアスを下げても残さが発生 しにくいので、対マスク選択比を大きくとることができる(**図6** 参照)。このプロセスはすでにプラズマ プロセス ツール"U- 622"として製品に適用され、実績を積んでいる。

6

おわりに

ここでは、90 nm世代以降に向けての絶縁膜エッチングツールとして期待の大きい、UHF-ECR装置について述べた。

半導体デバイス製造装置への要求は、高アスペクト比のホール加工やマスク加工、Low-kダマシン加工など多岐にわたり、ますます幅広いプロセスアプリケーションが必要になってきている。

日立グループは、今後もUHF-ECR方式をブラシュアップし、 プラズマ制御性をさらに高めることで、これらの要求にこたえ ていく考えである。

参考文献

- 1) 門村, 外:Low-k膜の課題とエッチング, Electronic Journal, 24th Technical Symposium公演予稿集, pp.27~39(1999)
- 2) 川根:Cuダマシン, Semiconductor World, pp.82~85(1998)
- 3) Itabashi, et al.: UHF-Band ECR Plasma, Journal of Plasma and Fusion Research, Vol.73, No.12, pp.1365-1373 (1997)
- 4) 伊澤, 外:UHF-ECRプラズマによる高選択比酸化膜エッチングの検討, 第46回応用物理学会公演予稿集, pp.793~794(1999)

執筆者紹介



渡辺克哉

1985年日立製作所入社,株式会社日立ハイテクノロジーズ設計・製造統括本部 笠戸事業所 設計部 所属 現在,ドライエッチング装置・プロセス関連業務に従事 E-mail: watanabe-katsuya @ sme. hitachi-hitec. coms



横川賢悦

1984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,ドライエッチング技術の開発に従事 E-mail: yokogawa @ crl. hitachi. co. jp



大本 豊

1984年日立製作所入社,電力・電機グループ 笠戸事業所 開発 センタ 所属 現在,ドライエッチング装置やプロセス技術の開発に従事 応用物理学会会員

E-mail: yutaka_ohmoto@ pis. hitachi. co. jp



牧野紘之

1968年日立製作所入社,株式会社日立ハイテクノロジーズ デバイス製造装置事業統轄本部 所属 現在,ドライエッチング装置のプロダクトマーケティング に従事

E-mail: makino-hiroyuki@nst. hitachi-hitec. com