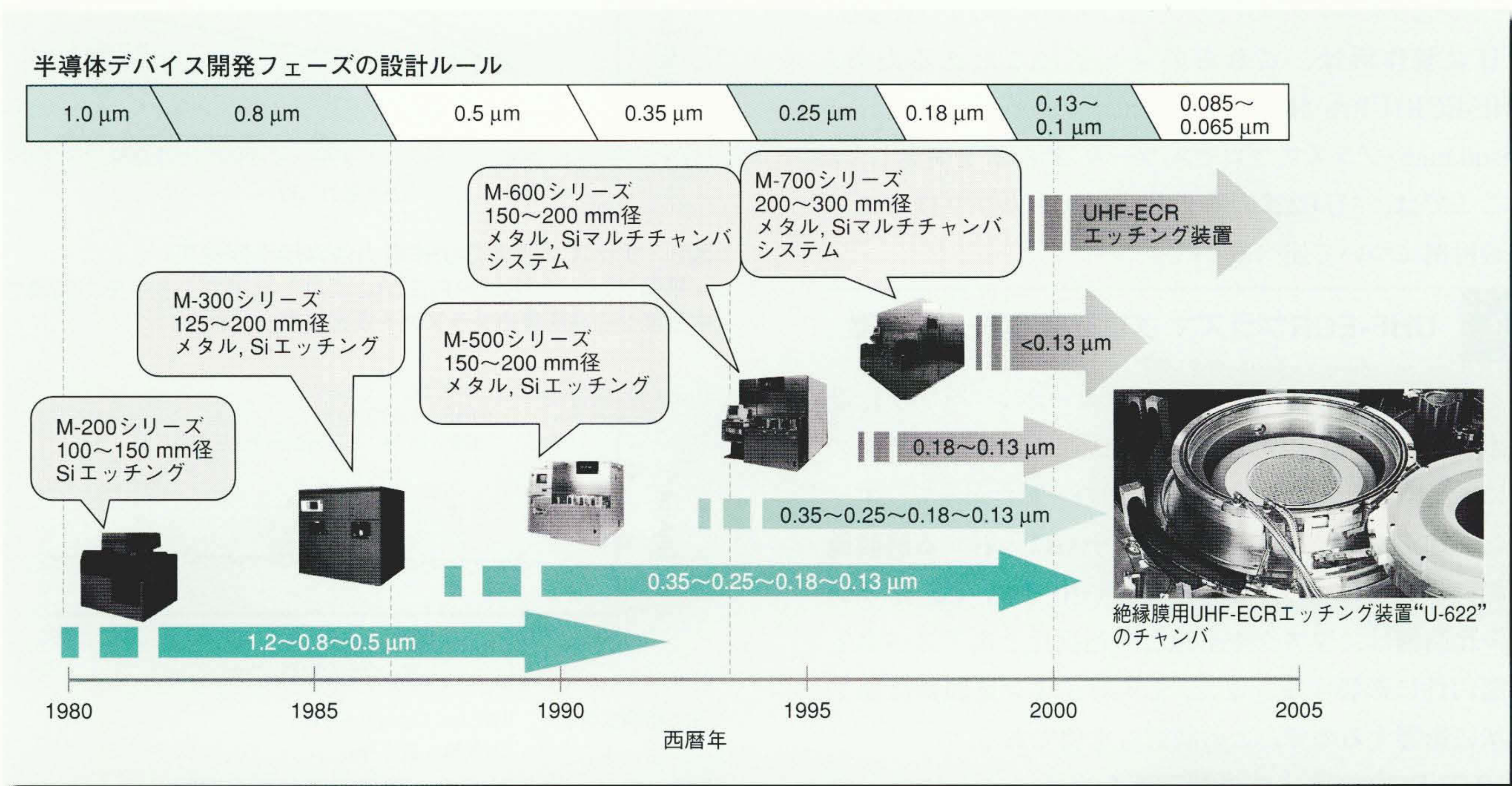


絶縁膜用UHF-ECRプラズマエッチング装置

UHF-ECR Plasma Etching System for Dielectric Films

川原博宣 Hironobu Kawahara 児島雅之 Masayuki Kojima
徳永尚文 Takafumi Tokunaga 横川賢悦 Ken'etsu Yokogawa



注：略語説明 UHF-ECR (Ultra High Frequency Electron Cyclotron Resonance)

半導体デバイス開発フェーズの設計ルールとドライエッチング装置製品のロードマップ

0.13 μm 以降のデバイスに適用できるエッチング プロセス ソリューション プラズマ ツールとして、日立製作所は、UHF-ECR装置を提案している。

半導体素子の高集積化と微細化が急速に進み、加工寸法0.18 μm のデバイスが量産へと移行し、さらに、0.13 μm のデバイスが開発中である。また、300 mm径ウェーハラインの構築も進められており、エッチング技術の高精度化と大口径化への対応が求められている。絶縁膜エッチングでは、微細化と高集積化に伴うアスペクト比の増大やマスクの薄膜化に対し、マスクや下地との高選択比と高アスペクトの垂直加工性が要求される。さらに、層間絶縁膜としてLow-k(低誘電率)材料とCuの組合せによるダマシン(埋め込みによる配線形成)プロセスが検討されており、これらの加工プロセスにも対応できることが求められている。

これらの課題を解決するために、選択性と高アスペクトの開口性に重要なエッチャントである CF_4/F ラジカル制御と、加工形状に重要な CF_2 対イオン比制御を特徴とするUHF-ECR (Ultra High Frequency Electron Cyclotron Resonance) プラズマを用いた絶縁膜エッチング装置を開発した。この装置では、(1) UHF波(450 MHz)-ECRにより、低圧力から中圧力領域で中密度から高密度のプラズマを安定かつ大口径均一にプラズマを生成でき、(2) UHF波平面アンテナとアンテナバイアス制御によってダブルニアサーフェイス効果^{※)}を高め、ラジカル比制御を行うことができる。これにより、0.13 μm 以降のプロセス ソリューション プラズマ ツールを提供する。

1 はじめに

半導体デバイスの高集積化と微細化に加え、デバイス構造や材料も大きく変化してきている。絶縁膜では、SAC (Self-Aligned Contact) やHARC (High Aspect

Ratio Contact) プロセスの高アスペクト化以外に、層間絶縁膜の低誘電率材料として SiOF や SiOC 、さらに有機膜も検討されている¹⁾。製造プロセスでは、Cu配線によるダマシンプロセスが実用化され始めており²⁾、エッチング技術としては、各種プロセスに容易に対応できるプラ

※) ダブルニアサーフェイス効果：ウェーハとウェーハ対向面で発生した反応生成物が、拡散現象によってウェーハに再入射する効果

ズマプロセス技術が求められている。

生産性の面ではウェーハの300 mm径化が急速に進められており、大口径均一化とともに、低異物、低チャージングダメージ、低ランニングコストが共通に求められるようになる。

日立製作所は、これらのニーズにこたえるため、UHF-ECR(Ultra High Frequency Electron Cyclotron Resonance)プラズマ プロセス ツール“U-622”を開発した。

ここでは、“U-622”の特徴と性能、およびプロセスでの適用例について述べる。

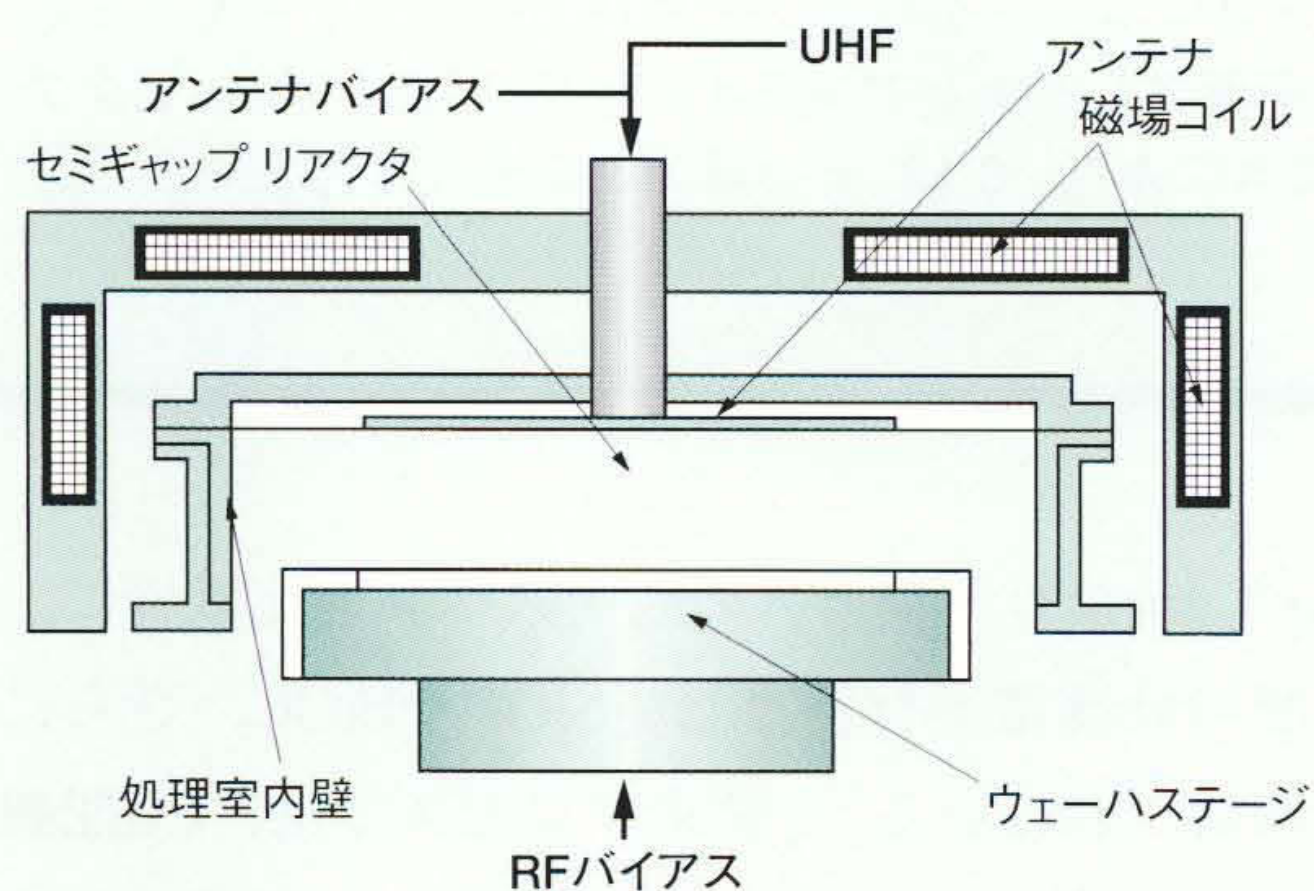
2 UHF-ECRプラズマ プロセス ツールの特徴

絶縁膜エッチングは、フルオロカーボン(過フッ化炭化水素)ガスの解離種による堆(たい)積とイオンアシストによるエッチング反応の競合で進む。したがって、エッチング加工の高精度化には、ウェーハに入射する解離種の制御が必要になる。この解離種の中でも、 CF_2/F ラジカル比制御は、マスクや下地との選択比と高アスペクトの開口性に影響する。また、 CF_2 対イオン比制御は加工形状に影響するので、この制御も重要である。

UHF-ECRでは、この制御性を高めることによって0.13 μm 以降のプロセス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。

UHF-ECRの特徴は、大別して以下の2点である。

(1) 450 MHzのUHF波を用いることにより、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。各ガス圧力でのUHF電力に対するプラズマ密度の測定例を図2に示す。0.5～3 Paの圧力範囲で $10^{11} \sim 10^{12}/\text{cm}^3$ の連続的に安定し



注：略語説明 RF(Radio Frequency)

図1 絶縁膜UHF-ECRエッチング室の構造

エッチング室では、平面アンテナからのUHF波と磁場で、セミナローギャップチャンバ内に安定かつ均一なプラズマを生成する。

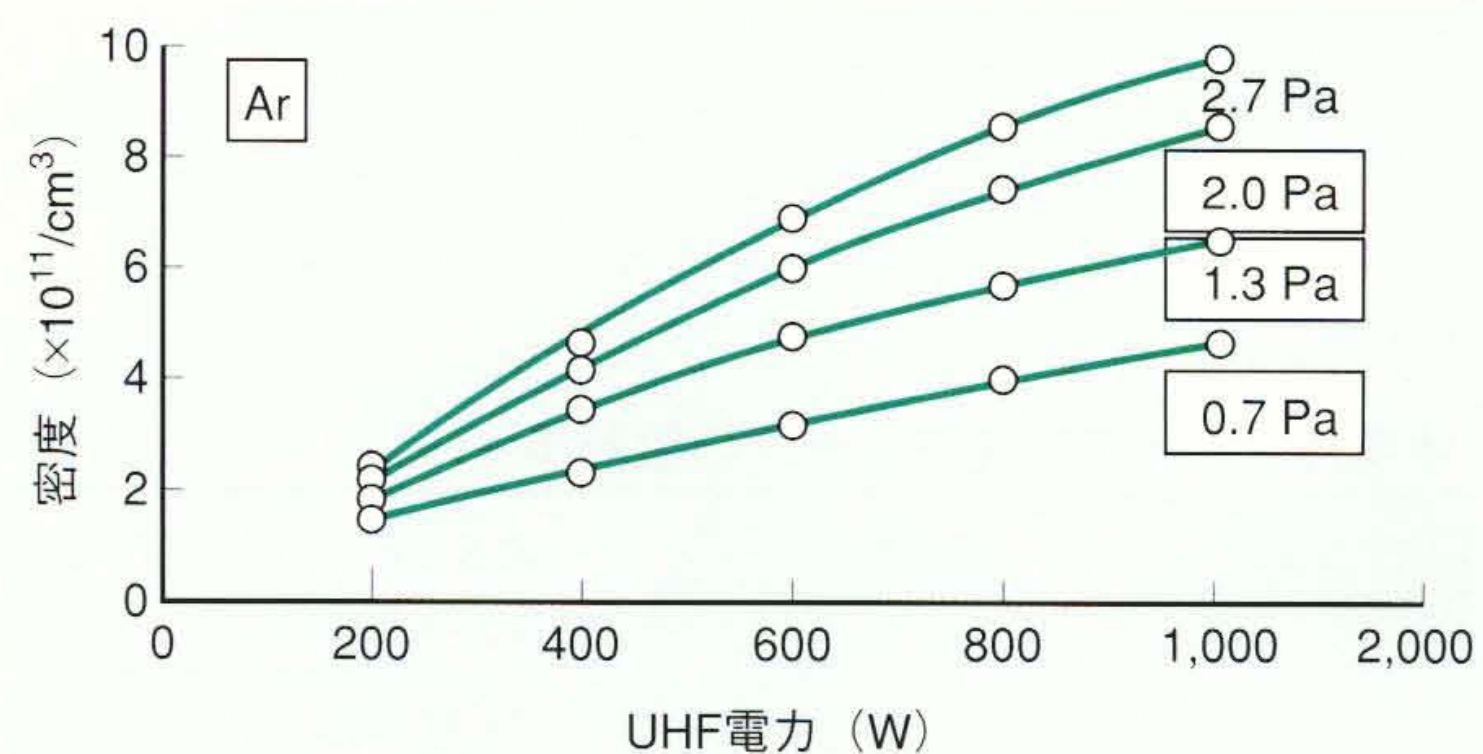
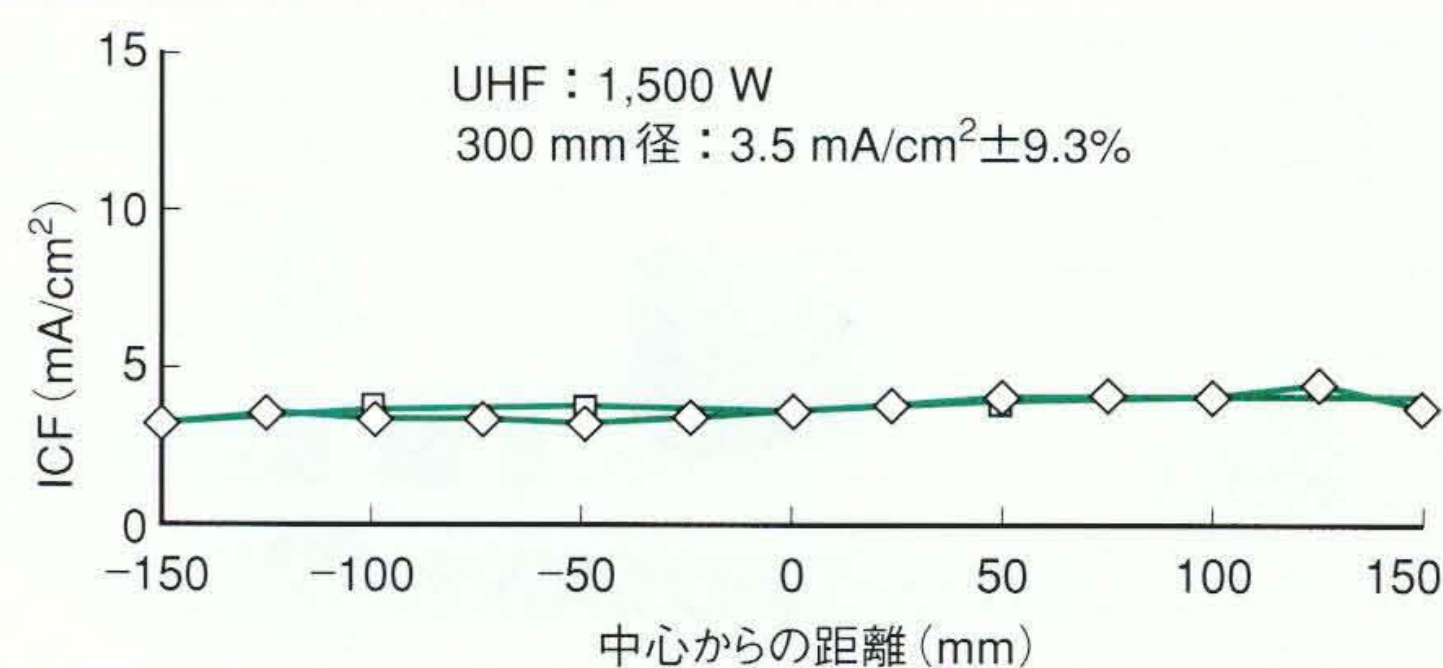


図2 プラズマ密度のUHF電力依存性測定結果

平面アンテナ方式UHF-ECRにより、低圧力から中圧力領域で中密度から高密度のプラズマを安定に生成できる。



注：略語説明など ICF(Ion Current Flux)
◇(X軸), □(Y軸)

図3 ウェーハ入射イオン電流密度分布測定例

UHF平面アンテナ構造により、300 mm径の範囲で均一なプラズマを生成できる。

た特性が得られる。

また、ウェーハへ入射するイオン電流密度の均一性も、直径300 mmの範囲で±10%以下が得られる(図3参照)。

(2) UHF波を平面アンテナで導入する構造を持つ。平面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では、プラズマ容積を小さくすることによってガス分子と電子の衝突回数を減らし、過剰な解離によるFラジカルを抑制する。また、ウェーハと平面アンテナ間の表面反応生成物再入射によるダブルニアサーフェイス効果により、活性種変換効率を上げている³⁾。さらに、セミナローギャップにより、大口径時に必要なガス量に対し、ウェーハ面内圧力差を小さくできる。この構造で、プラズマは、アンテナ下約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。この状態では、ECR加熱領域で CF_2 とイオンを多く発生させ、その下側ではFラジカルを多く発生させる(図4参照)。

ギャップとアンテナバイアスをプラズマソースとは独立に制御し、 CF_2 対F比を最適化することにより、ホール加工やマスク加工、ダマシ溝、穴加工などの広範囲なプロセスに対応できる。

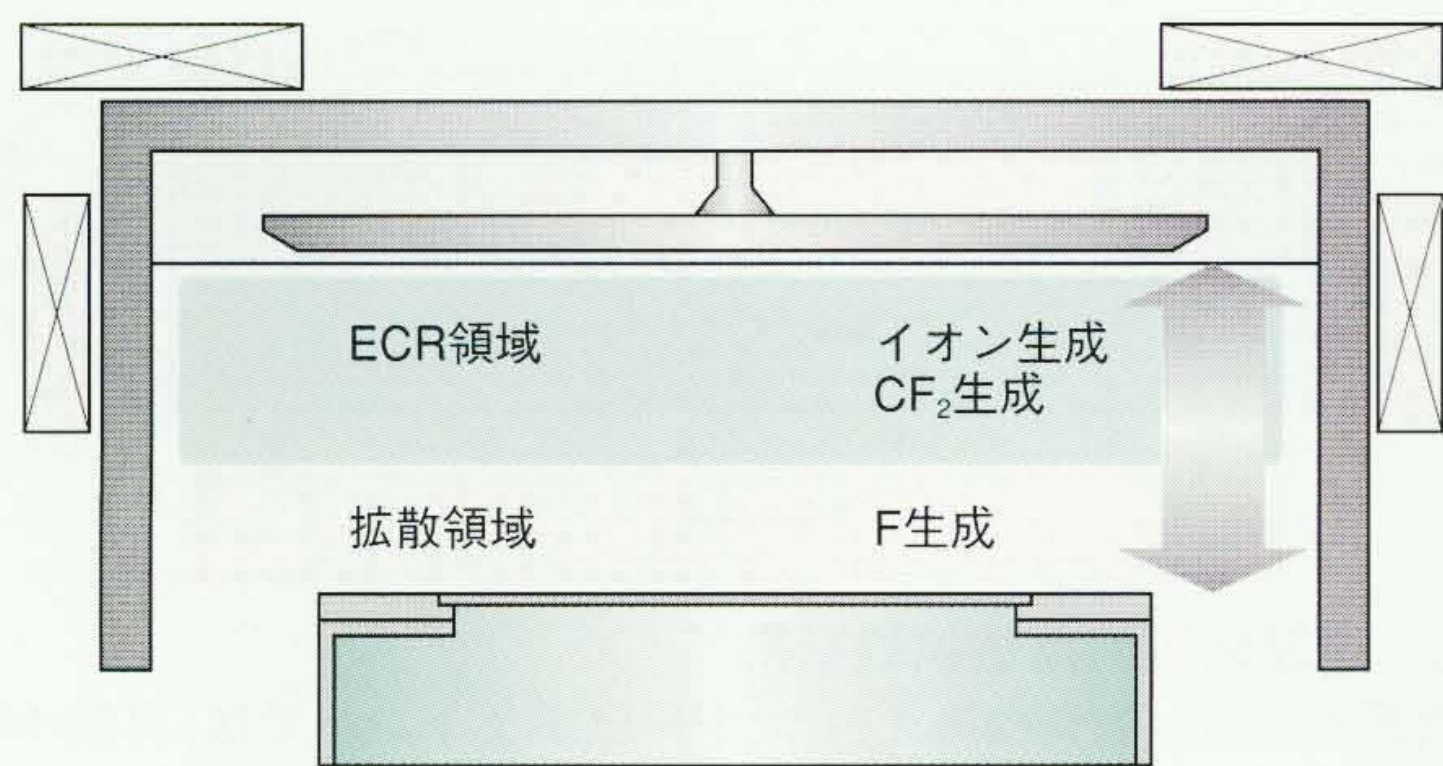


図4 UHF-ECRプラズマの構造

UHF-ECRプラズマを平面アンテナ下に発生させ、その下側に拡散領域を生成する。ECRプラズマ領域と拡散領域の大きさを制御することにより、 CF_2 対Fラジカル比を制御できる。

3 エッチングプロセスでの加工例

3.1 高アスペクトホール加工プロセス

ホール加工ではフルオロカーボン系ガスによって CF_2 、C、およびFのバランスを取り、高アスペクトの開口性、垂直形状、マスクとの選択比を上げることが必要である¹⁾。

U-622では、ギャップを小さくし、アンテナバイアスを制御することにより、ホールの開口性とマスクや下地との選択性を両立させている。0.1 μm ホールでアスペクト20以上の加工例を図5(a)に、SACプロセス加工例を同図(b)にそれぞれ示す。

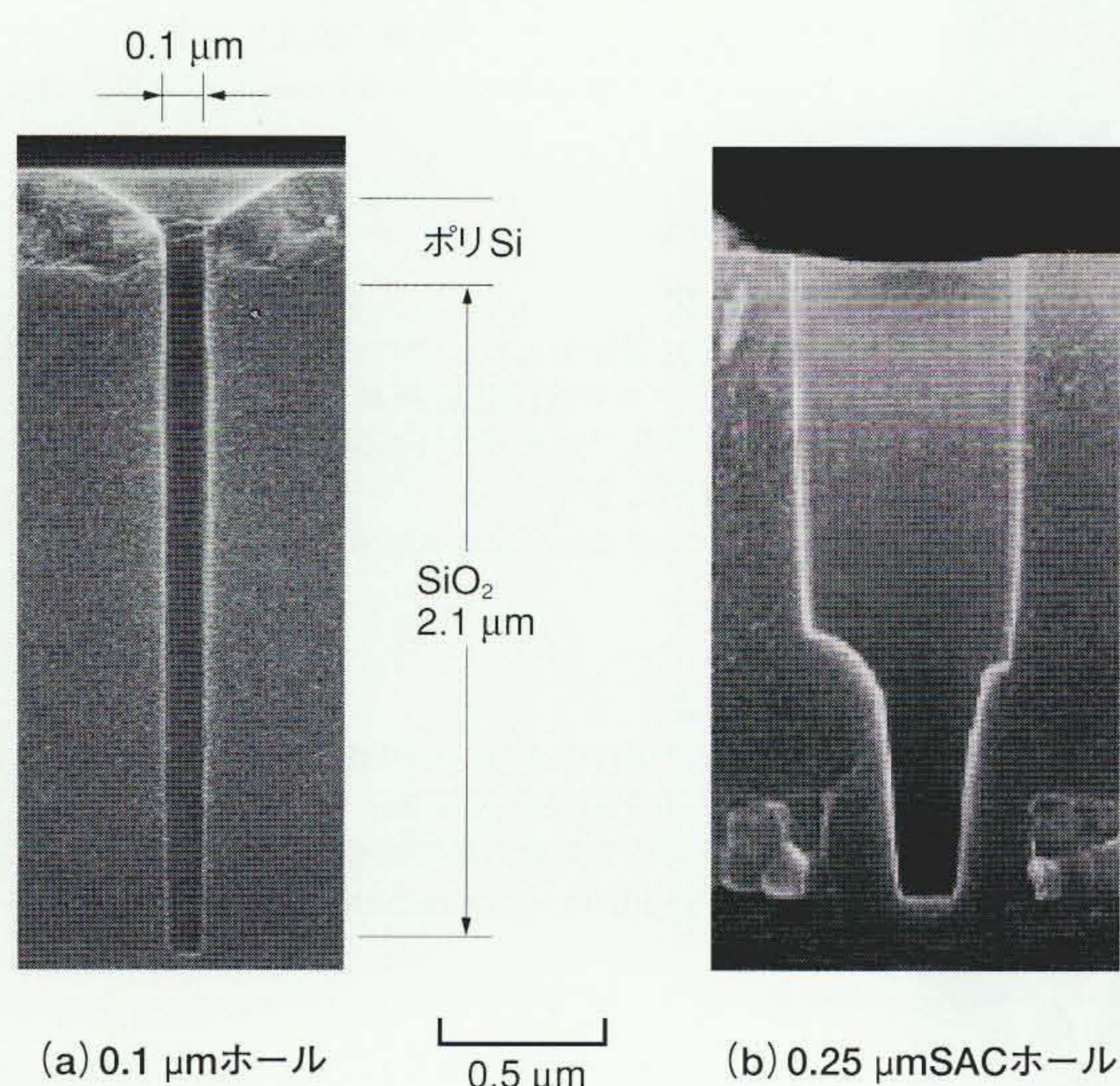


図5 ホールエッチングの加工例

CF_2 /Fラジカルと CF_2 対イオン比制御により、ホールの開口性と高いマスク選択比を得る。SACプロセスでは、 CF_2 /Fラジカル比と CF_2 対イオン比を制御することにより、垂直加工性と高いSiN肩選択比を得る。

3.2 Low-k材ダマシンプロセス

Low-k(低誘電率)層間絶縁膜材料としては、SiOFやSiOC、有機膜など数種類の膜が検討されている。このため、それぞれの膜に適したエッチングプロセスを容易に構築できることが求められている。

UHF-ECRではガス圧力とプラズマ密度を広範囲で安定に形成できるので、Low-kダマシンプロセスアプリケーションにも適している。

ダマシンプロセスのエッチングでは、マスクやストッパ膜との選択比と垂直加工性がいっそう重要となることから、ギャップをやや広くした領域で、垂直形状とマスク、ストッパ膜との選択比を得ている。

SiOF膜ダマシンプロセスの加工例では、テーパ角87.5度でマスキングの少ない加工ができている(図6参照)。有機膜の加工例を図7に示す。有機膜エッチングでは、マスクとの選択比に加え、残さを無くす必要がある。このため、ウェーハバイアスとアンテナバイアスを最適化することにより、残さが無い垂直加工を可能としている。

上記のように、UHF-ECRプラズマエッチングでは、 CF_2 /Fや CF_2 対イオン比制御により、高アスペクトホー

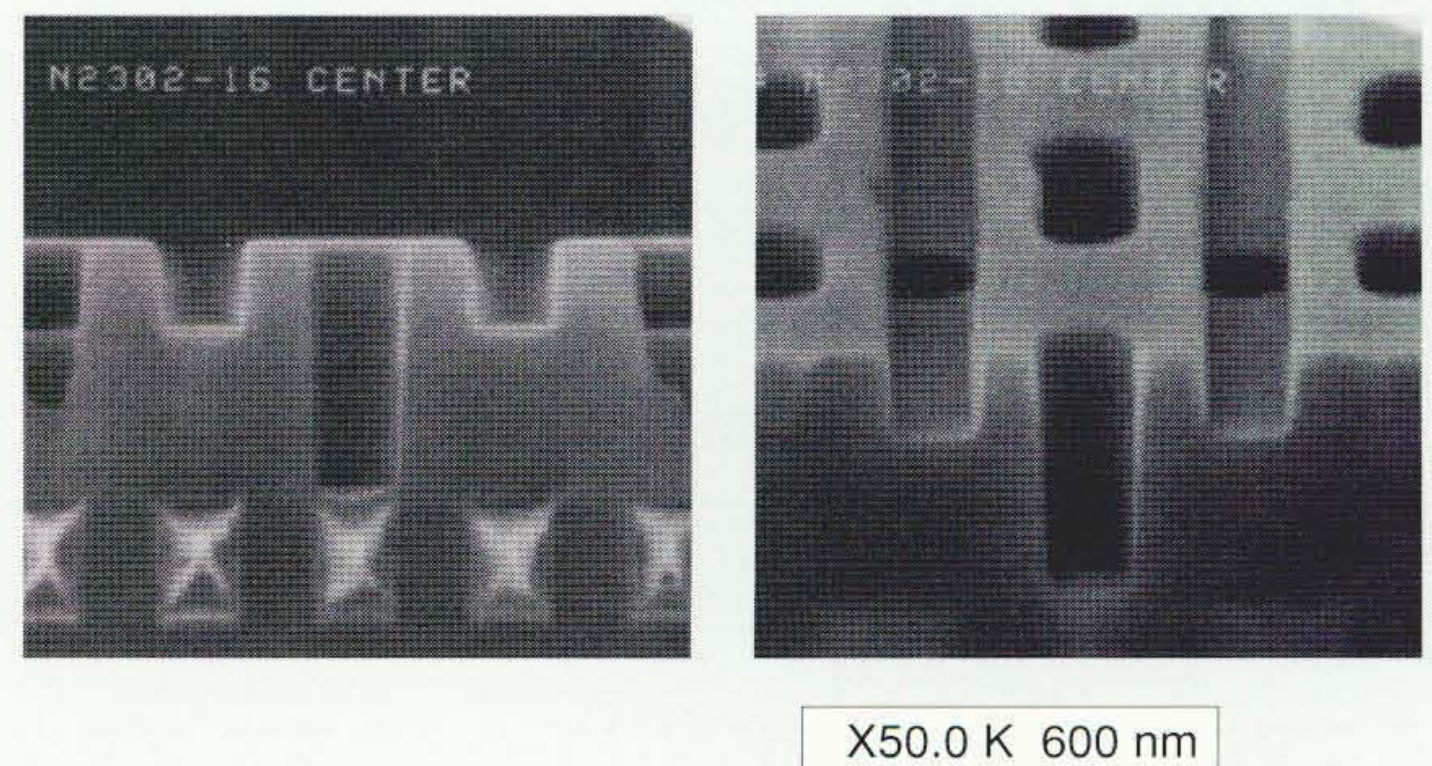
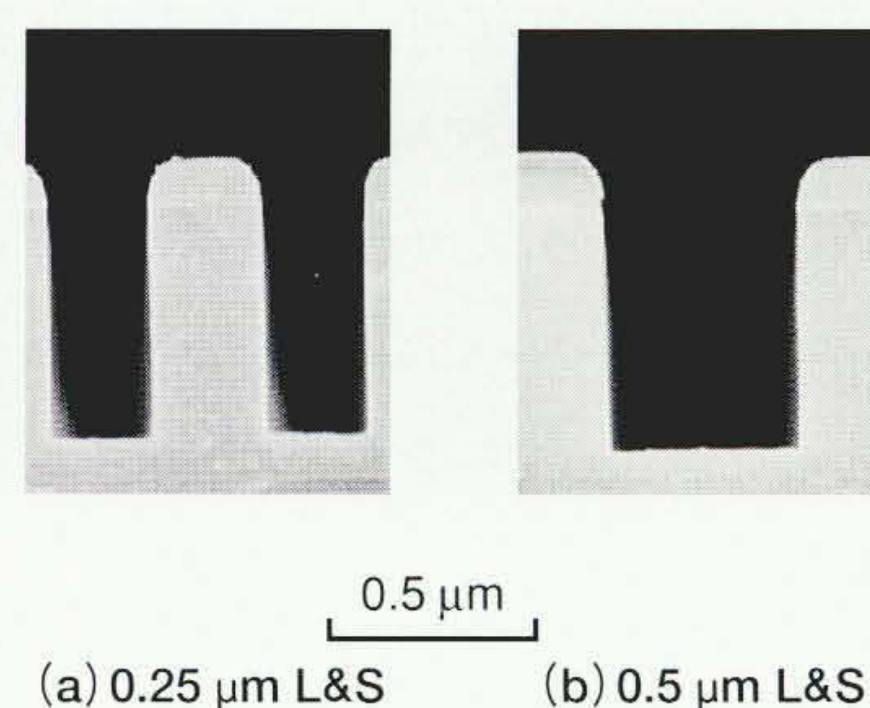


図6 SiOF膜ダマシンプロセスの加工例

UHF-ECRでは、ダマシンプロセスのマスク、ホール、溝、およびボトム膜のエッチングに対してギャップとアンテナバイアス制御を使うことにより、プロセスを容易に構築できる。



注：略語説明
L&S (Line and Space)

図7 有機膜溝エッチングの加工例

アンテナバイアスとウェーハバイアス制御により、有機膜エッチングでも、垂直加工、高マスク選択比、および低残さエッチングを可能にする。

ルの高選択エッチングをはじめ、CD(Critical Dimension)制御性が重要なダマシ加工やマスク加工まで幅広いプロセスアプリケーションが可能である。

4 システム性能

絶縁膜用UHF-ECR装置では、200 mm径ウェーハに対してはM-600シリーズ、300 mm径ウェーハに対してはM-700シリーズをそれぞれ共通ベースフレームとした「マルチチャンバシステム」としている。ベースフレームでは搬送系、制御系、およびソフトウェアを共通化しており、顧客プラントでの量産装置としての実績がある。また、300 mm径ウェーハに対応する、SEMI(Semiconductor Equipment and Materials Institute)に準拠したFOUP(Front Opening Unified Pod)ローダも製品化している。

UHF-ECRの特徴である低アスペクトチャンバと低磁場コイル構造では、チャンバ高さが低い低容積チャンバに加え、交換部品をスワップキット化することにより、4時間以下のメンテナンスを可能にしている。

絶縁膜エッチング装置では、プロセス性能上、フルオロカーボンなどの堆積性の強いガスを使用する。このため、チャンバ内に堆積した堆積膜からの放出ガスがプロセスの安定性を阻害する。これを解決するため、チャンバ内面の温度は、堆積膜からのガス放出を安定に制御できる80℃以下に保持している。実機での連続処理試験結果を図8に示す。チャンバ内面を一定温度に保持することにより、エッチングレートと形状について、100時間以上の放電時間で安定した結果を得た。

5 おわりに

ここでは、0.13 μm 以降に向けてのプラズマ プロセスソリューション ツールとして開発した、絶縁膜用UHF-ECRプラズマ装置“U-622”について述べた。

絶縁膜用エッチング装置では、高アスペクトホール加工やマスク加工、Low-kダマシ加工など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。U-622では、ラジカル比とラジカル対イオン比制御性を高めることにより、各種のプロセス構築を容易化できる。さらに、ゲート用とメタル用のUHF-ECRプラズマプロセス装置も開発しており⁵⁾、300 mm径ウェーハへの展開も含め、今後の微細加工用ツールとして、これらを長く愛用される装置にしていく考えである。

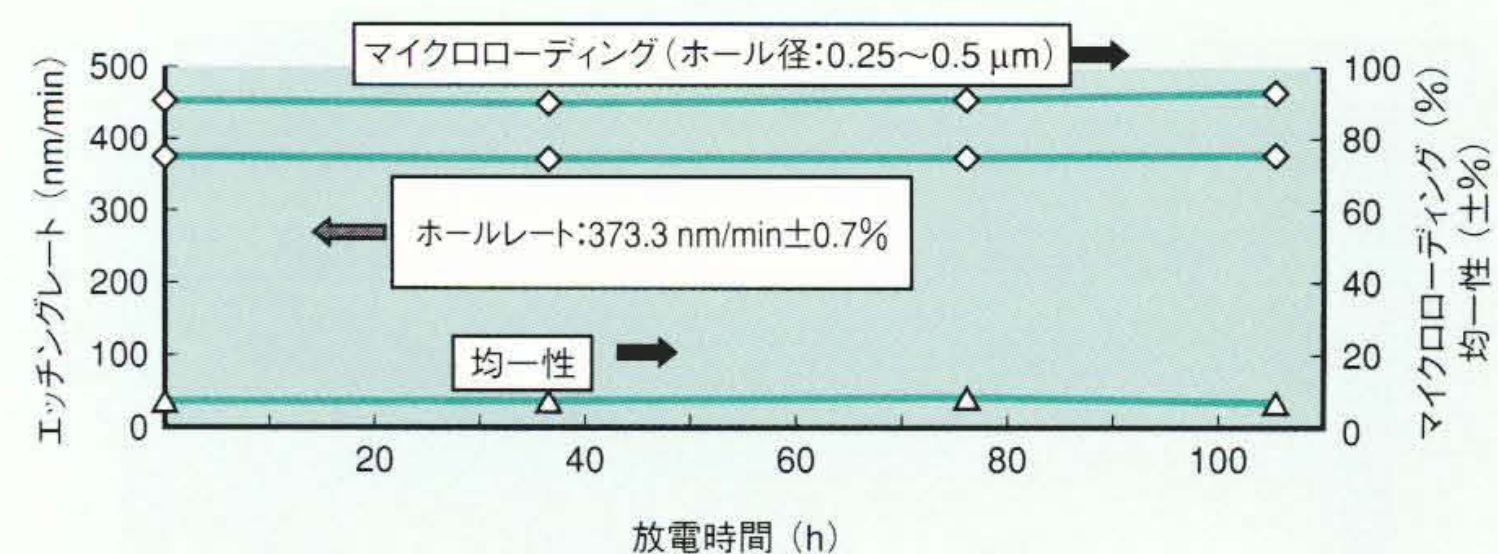


図8 連続処理安定性試験結果

内面一定温度制御機能を持つUHF-ECRチャンバでは、100 h以上の連続処理でも高い安定性を得る。

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, 27~39(1999.9)
- 2) 川根: Cuダマシ, Semiconductor World, 82~85(1998.2)
- 3) Tachi, et al.: Doubled Near-surface Model for Oxide Plasma Etching, Dry Process Symposium, 83-90(1997.11)
- 4) 伊澤, 外: UHF-ECRプラズマによる高選択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, 793~794(1999.3)
- 5) Itabashi, et al.: CD-controlled Gate Etching with High Uniformity Using UHF-ECR Plasma, Dry Process Symposium, 115-119(1999.11)

執筆者紹介



川原博宣

1974年日立製作所入社, 電力・電機グループ 半導体製造装置推進本部 笠戸半導体装置本部 所属
現在, ドライエッチング装置の開発に従事
E-mail: kawahara-hironobu @ kasado. hitachi. co. jp



徳永尚文

1980年日立製作所入社, デバイス開発センタ 半導体技術開発本部 プロセス開発部 所属
現在, 半導体プロセスの技術開発に従事
応用物理学会会員
E-mail: t-tokuna @ ddc. hitachi. co. jp



児島雅之

1983年日立製作所入社, 半導体グループ 生産統括本部 生産技術本部 生産技術部 所属
現在, 半導体プロセスの生産技術開発に従事
E-mail: kojimam @ cm. musashi. hitachi. co. jp



横川賢悦

1984年日立製作所入社, 中央研究所 先端技術部 所属
現在, プラズマプロセスの技術開発に従事
応用物理学会会員
E-mail: yokogawa @ crl. hitachi. co. jp