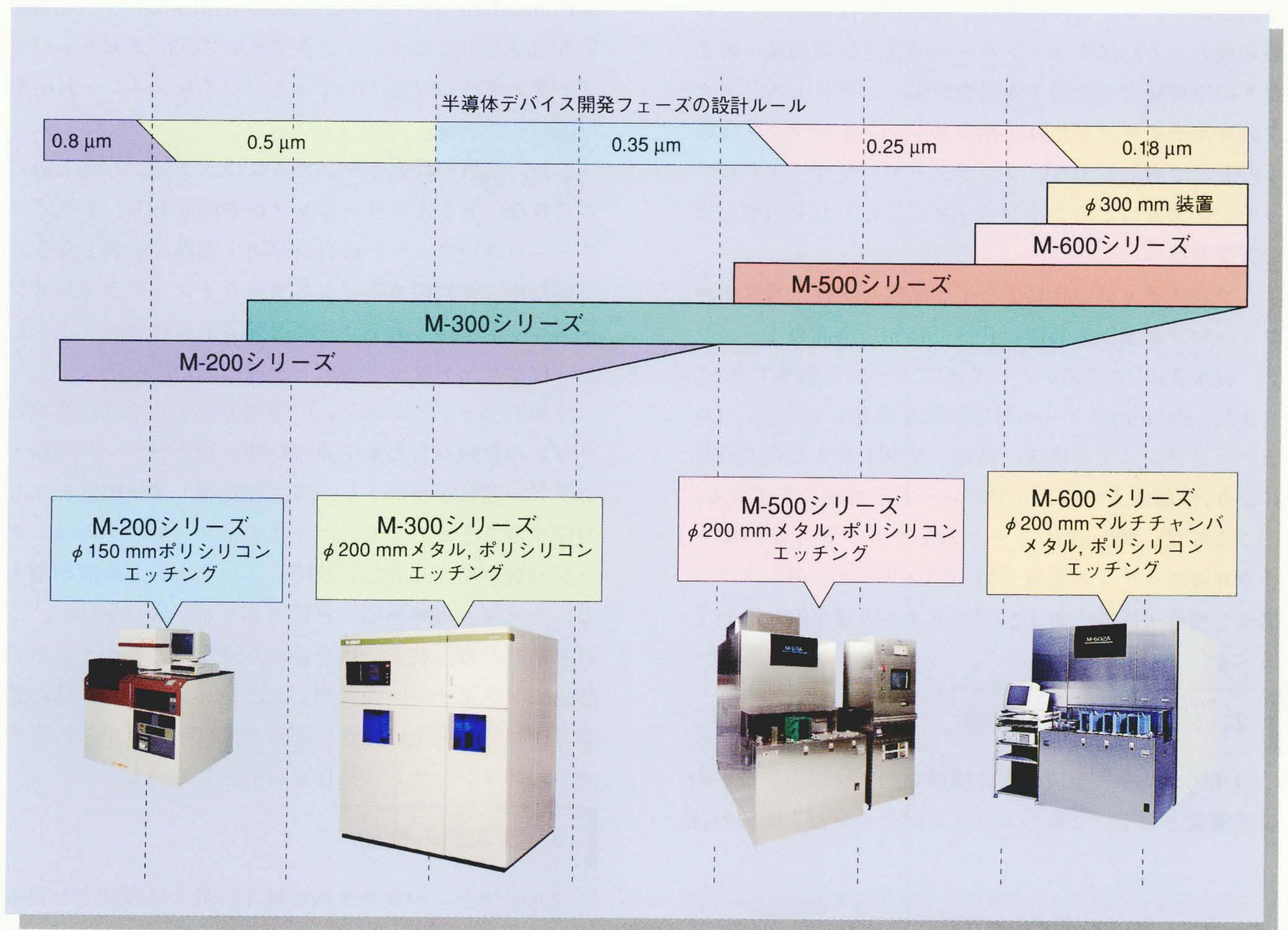


マルチチャンバ型マイクロ波プラズマエッチング装置

Multi-Chamber Microwave Plasma Etching System

川原博宜 Hironobu Kawahara 児島雅之 Masayuki Kojima
森田光洋 Kôyô Morita 濱崎良二 Ryôji Hamasaki



デバイスの微細化に対応したマイクロ波プラズマエッチング装置のラインアップ

「M-600シリーズ」は、サブフォータミクロンデバイスの微細加工を可能にし、さらに生産性を高めたマルチチャンバ型マイクロ波プラズマエッチング装置である。

半導体デバイスの高集積化と微細化に伴い、エッチング装置では、プロセス性能としての高い加工精度とともに、投資効率の面から高いコストパフォーマンスが要求される。マイクロ波プラズマエッチング装置は、微細加工に必要な低圧力領域でも高速エッチングを可能にする装置であり、サブミクロンデバイス以後の量産装置として、日立製作所は1,000台以上の出荷実績を持っている。

今回、さらに微細加工性能とコストパフォーマンスを高めたマルチチャンバ型マイクロ波プラズマエッチング

装置「M-600シリーズ」を開発した。この装置は、従来機「M-500シリーズ」のプロセスを継承したマルチチャンバ装置であり、次の特徴を持つ。

- (1) マルチチャンバ用高速ウェーハ搬送・制御システムにより、従来機に比べて処理能力を約2倍に高めているため、クリーンルーム占有幅を約30%低減できる。
- (2) マイクロ波による広範囲なプラズマ密度の制御と高周波バイアスによる入射イオンエネルギー制御により、サブフォータミクロンの微細加工ができる。

1. はじめに

半導体デバイスの製造では、デバイスの高集積化と微細化に加え、製造ラインへの投資コスト低減がますます重要となっている。エッチング装置についても、微細加工性能向上に加え、装置の高コストパフォーマンス化が要求されている。この指標は、装置初期投資額当たりの処理能力、またはクリーンルームの装置設置面積・幅当たりの処理能力で比較する場合が多い。プロセスリアクタのマルチチャンバ化は、高コストパフォーマンス化の手段として有効である。マルチチャンバ型マイクロ波エッチング装置はこのようなニーズにこたえたもので、次の特徴を持つ。

- (1) マルチチャンバ化によって生産性を上げ、コストパフォーマンスを従来装置に比べて15%以上高める。
- (2) 従来装置「M-500シリーズ」のプロセスを継承できる。

また、300 mmウェーハ対応装置も開発しており、マルチチャンバシステム構成、制御、ソフトウェアの共通化により、性能向上へのアップグレードを可能にしている。

ここでは、200 mmウェーハ対応マルチチャンバ型マイクロ波エッチング装置「M-600シリーズ」のシステム構成と機能・性能、およびプロセスへの適用例について述べる。

2. システム構成と機能

M-600シリーズ装置の本体構成を図1に示す。標準的装置構成として、2個のエッチングチャンバと2個の後

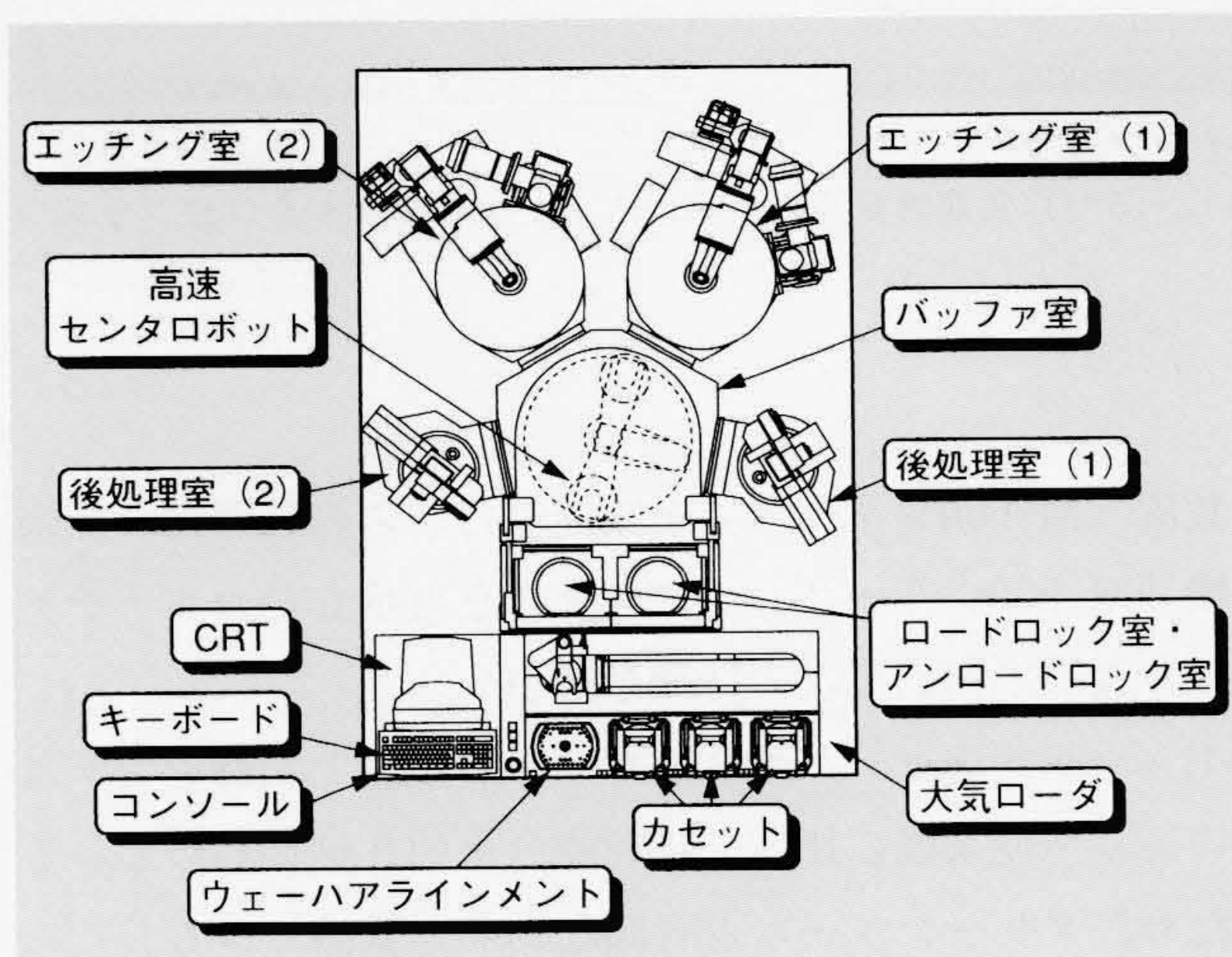


図1 M-600シリーズ装置の本体構成

大気ローダ部に製品カセットとクリーニング ウェーハ カセットを設置することにより、クリーニングから製品処理までの自動運転ができる。

処理チャンバを持っている。複数のプロセスチャンバのウェーハを短時間で交換するため、センタロボットを高速化している。このロボットでは、M-500で量産ライン稼動実績を持つセンタロボットをさらに高速化し、搬送タクトを短縮した。量産ラインのFA対応として、(1) SEMI (Semiconductor Equipment and Materials International) E23-95に準拠したAGV (Automated Guided Vehicle) とのカセットインタフェース、(2) カセットバッファリングへの対応、(3) ミニエンバイロンメント対応を可能にしている。

また、装置の稼動率を高めるには、チャンバを大気にさらさないドライクリーニングが必須であり、ドライクリーニング用ウェーハの自動運用・管理が必要となる。このため、複数のカセットステーションとアラインメントユニットを持つ大気ローダを装置前面にビルトインした「枚葉ロードロック方式」を採用した。

マルチチャンバシステムの運用方法としては、複数のチャンバを組み合わせる連続処理を行うパラレル運転・シリアル運転を可能とし、多品種処理、多層膜処理にも対応することができる。マルチチャンバシステムは、チャンバ数が増える分だけ故障、メンテナンス時間が増大し、トータルの処理能力を低下させるリスクを持つ。これを防ぐため、装置全体を停止させないで各チャンバで独立にメンテナンス操作ができるシステムも組み込んでおり、エラー発生時の継続運転や、自動運転中の特定チャンバのメンテナンス操作も可能としている。

3. システム性能

マルチチャンバシステムでは、(1) 最大処理能力を得るための高速ウェーハ搬送・真空排気・制御システム、(2) システム全体を停止させない信頼性の高いウェーハ搬送・制御システムが必須となる。マルチチャンバシステムでの高速信頼性にかかわる主要素の一つであるセンタロボットの試験結果を図2に示す。動作サイクル41万サイクル、ウェーハ枚数で82万枚の連続試験でも搬送精度0.03 mm以下を維持しており、量産ラインに適用が可能な結果を得た。

装置の処理能力とメンテナンスエリアを含む装置設置寸法を従来装置との比較で図3に示す。シングルチャンバ装置「M-500シリーズ」に対して約2倍の最大処理能力比が得られるため、装置設置面積比で約20%、幅寸法比で約30%低減できる。

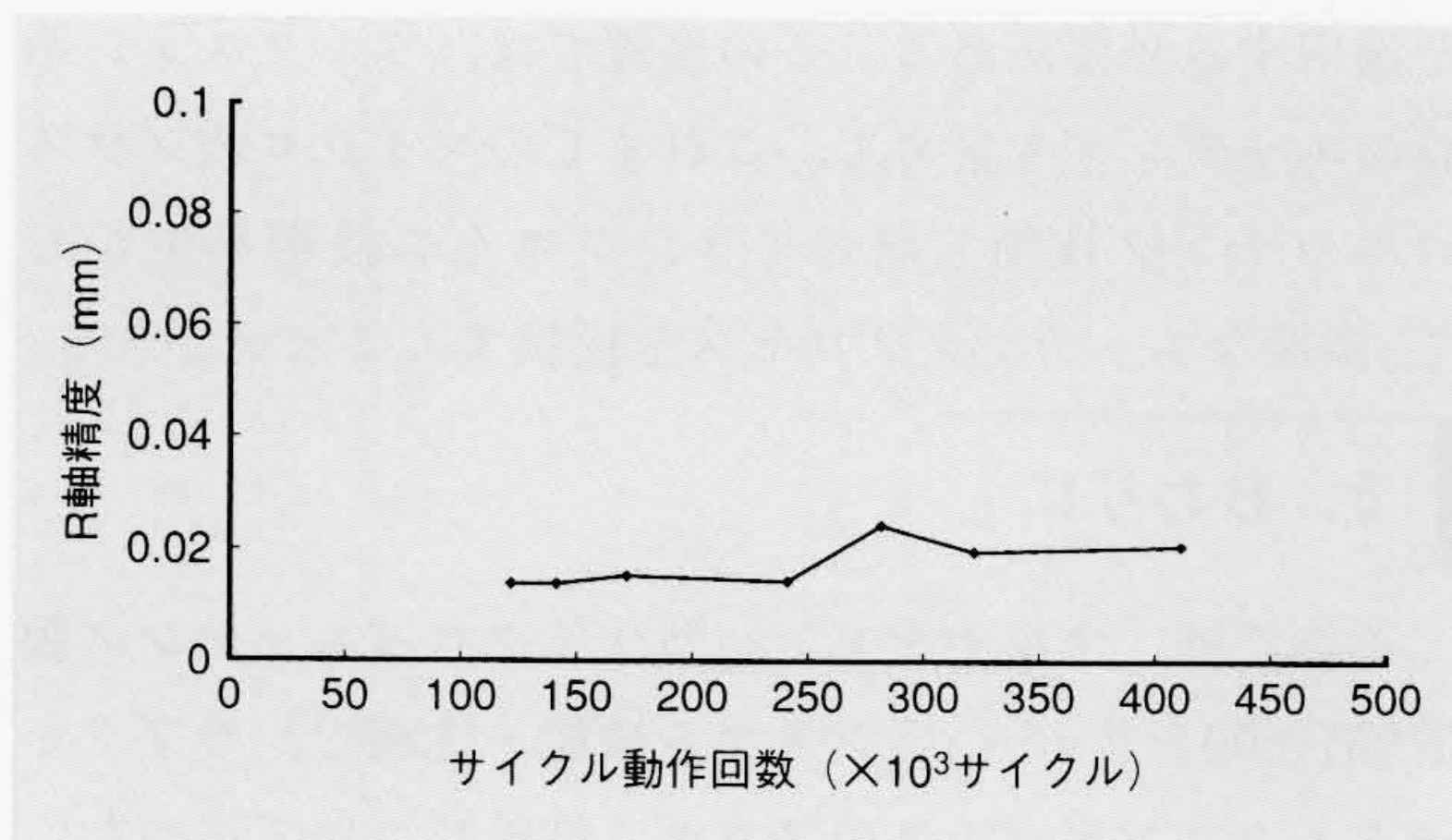


図2 センタロボットのサイクル動作精度

ロードロック室からウェーハを受け取り、エッチング室と後処理室を経てアンロードロック室へ搬出する繰り返し動作を、サイクル当たり2回繰り返す。

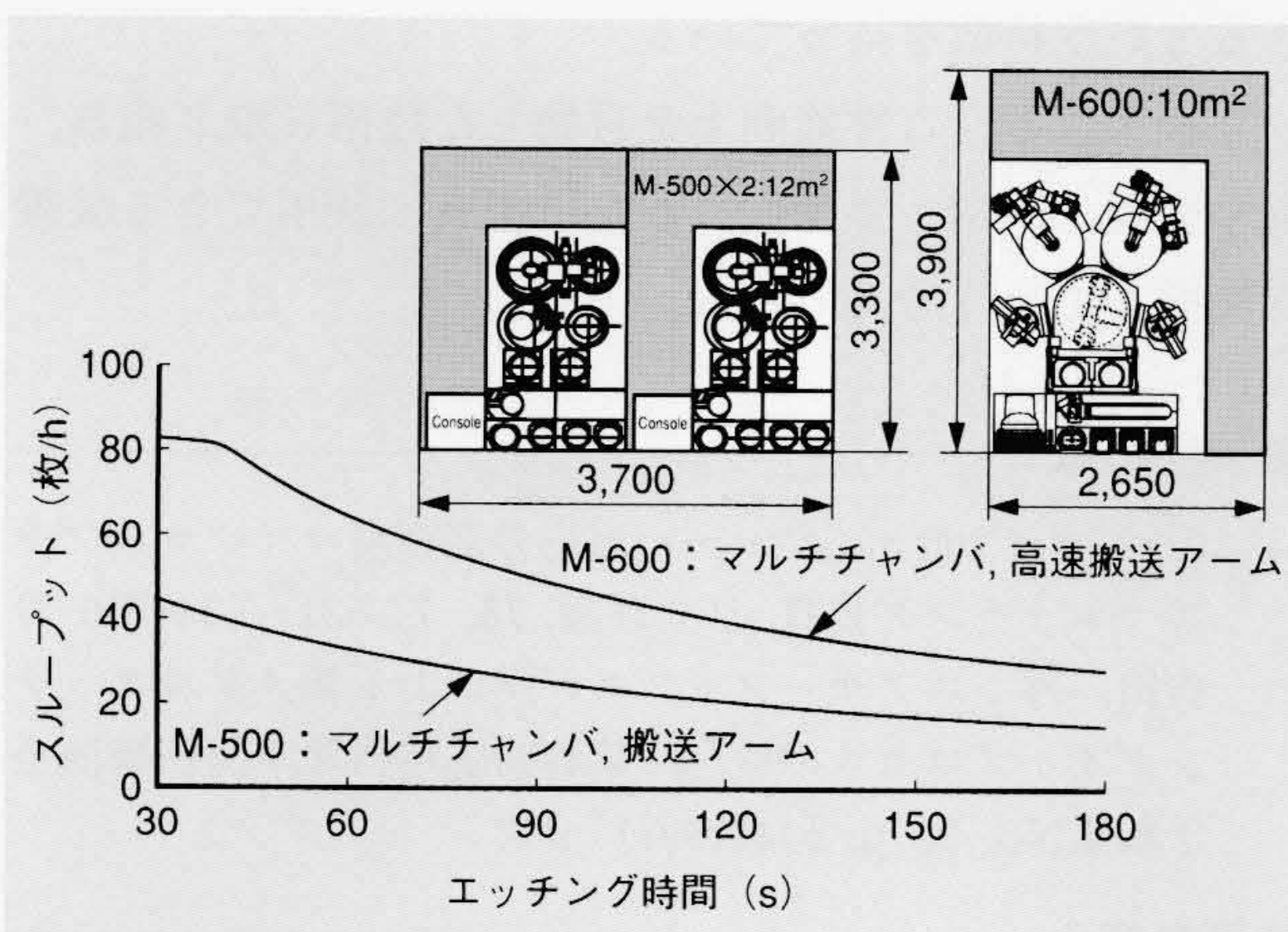


図3 処理能力と装置設置寸法

シングルチャンバに比べて約2倍のスループットを持ち、シングルチャンバ2台と比較すると、設置寸法を幅方向で約30%低減することができる。

4. プロセス性能

4.1 メタルエッチングプロセス

デバイス設計寸法がクォータミクロンレベルとなり、i線ステッパに代わって使用されるエキシマレーザ露光技術では、初期レジスト膜厚がそれまでの約1.0~1.5 μmから1.0 μm程度となるため、対レジスト選択比の飛躍的な向上が必要となる。

アルミのエッチングはラジカル反応性が強く、異方性形状を達成するためには側壁保護膜が必要であり、従来のプロセスではこれをレジストからの反応生成物によっていたが、上述の選択比とはトレードオフの関係にある。したがって、プロセスガスとして側壁保護成分を供給することが必須となってきた。

エキシマレーザレジストで露光した0.25 μm L&S

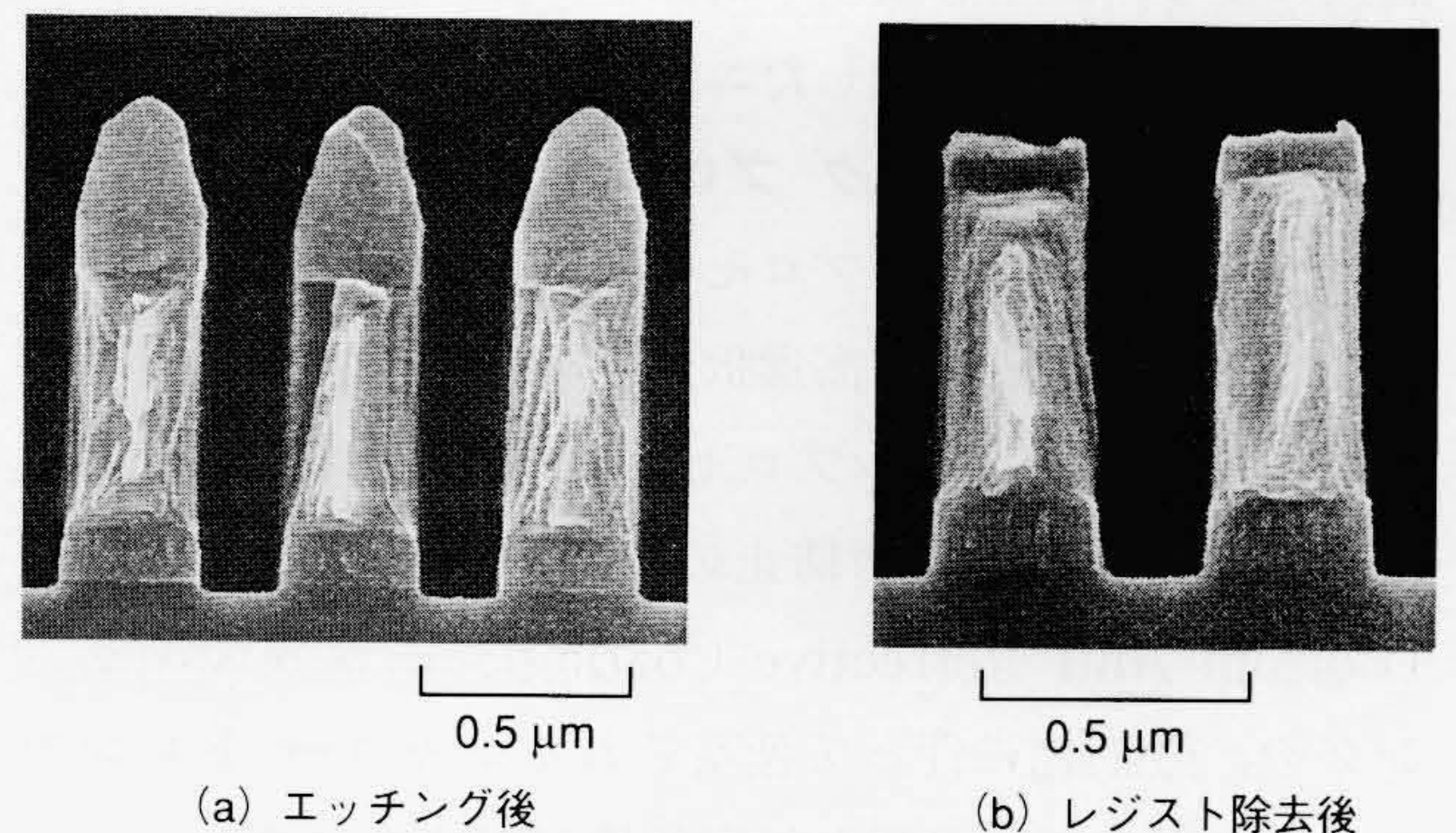


図4 0.25 μm L&Sのエッチング特性

エキシマレジストで露光した0.25 μmメタル配線〔256 MビットDRAM(Dynamic Random Access Memory)クラス〕のエッチング形状のSEM(走査電子顕微鏡)写真を示す。レジストとの選択比と異方性形状を両立させている。

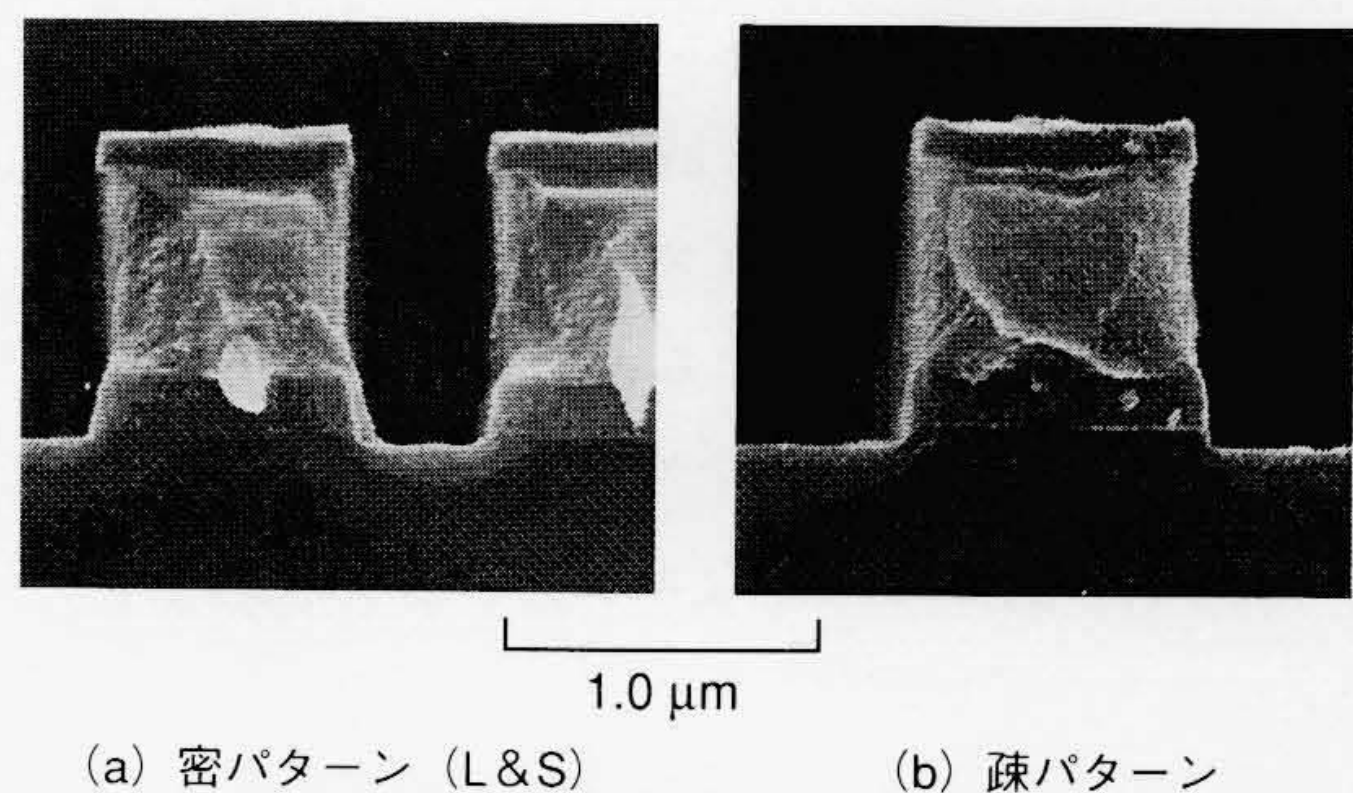


図5 疎密形状差低減プロセス

ロジック系デバイスで重要視されるエッチング形状の疎密差(パターンによる差)を、プロセス条件の最適化によって極小化した例を示す(SEM写真)。

(Line and Space)サンプルをエッチングした例を図4に示す。膜構造は、レジスト/TiN/Al-Si-Cu/TiN/BPSGであり、オーバエッチングも含めて、トータルの選択比として3以上の値を得ている。

また最近では、パターンの微細化に伴ってL&S部以外のパターンでの寸法制御が重要視されている。

一般に、密部(L&S)に対して疎部(孤立パターン)では側壁保護膜の付着量が多く、形状が順テーパとなり、仕上がり寸法が大きくなる傾向にある。この傾向は、被エッチング面積が大きく、また、局所的なパターンの密度差が大きいロジック系デバイスで顕著である。

これを低減するためには、密部の側壁保護膜厚を必要最小限に制御するとともに、疎部・密部側壁への保護膜付着量を均一化したり、または側壁保護膜の膜質を制御することが重要となる。具体的には、処理圧力やウェーハ温度の最適化、保護膜形成のために添加するガス種の

選択により、疎密形状差を低減できる。

疎密形状差を極小化したエッチング例を図5に示す。

4.2 ゲート エッチング プロセス

ゲート エッチング プロセスでは、第1に、5 nm以下となる下地酸化膜との高選択比と寸法制御性の両立が必要である。また、メタルプロセスと同様に、エキシマ露光技術導入に伴って反射防止のために使用されるBARC (Bottom Anti-Reflective Coating) レーザ膜のエッチングや、微細化に伴って使用されるシャロー トレンチ エッチングなど、多様な対応技術が求められる。

膜厚 5 nm 以下の下地酸化膜を持つサンプルをエッチングした例を図6に示す。

極薄酸化膜に対応するプロセスでは、対酸化膜選択比 150 以上も可能である。

素子分離に使用されるシャロー トレンチ エッチングの例を図7に示す。シャロー トレンチ エッチングでは、溝側壁のテーパ角の制御性や、底部の角の丸み付けなどが重要であり、これに適したガス種を選択、プロセス条件の最適化などがポイントとなる。

ゲートエッチングでは、マスクや被エッチング膜種が多様であり、対象に応じて最適なエッチングケミストリー

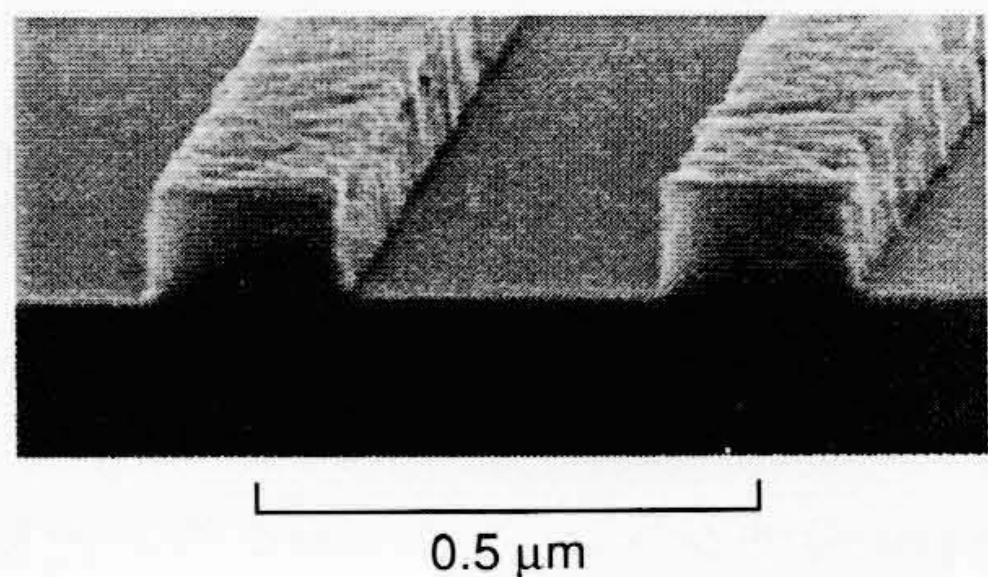


図6 0.25 μmゲート加工例

0.25 μm寸法、下地酸化膜厚 5 nm以下 (256 MビットDRAMクラス) のゲート加工形状を示す (SEM写真)。下地抜けがなく、異方性のエッチングができる。

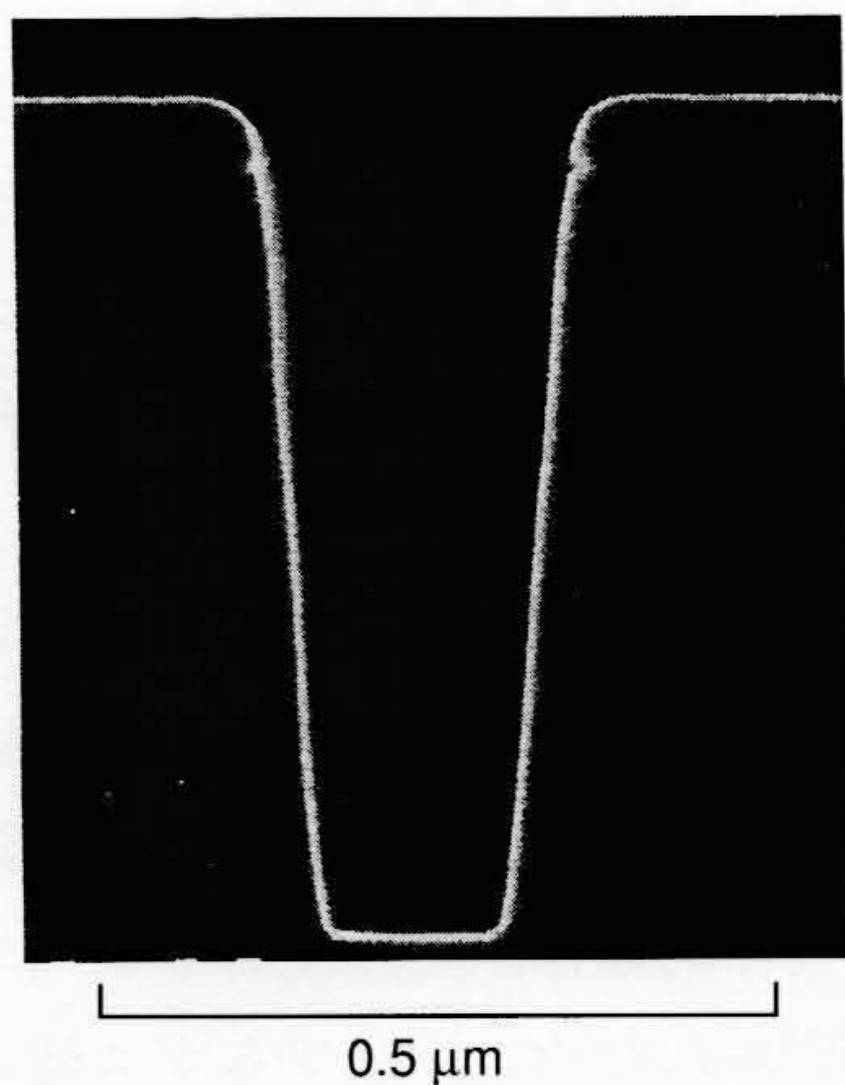


図7 シャロー トレンチ エッチング例

今後のデバイスで素子分離用に使用されるシャロー トレンチ エッチングの形状を示す (SEM写真)。溝底部にサブトレッチのない良好な形状が得られる。

を適用する必要がある。この装置では、タングステン系膜のエッチングも含めて、これまでのマイクロ波プラズマエッチング技術で培ってきたプロセス技術を生かして、多様なエッチングプロセスを提供することができる。

5. おわりに

ここでは、マルチチャンバ型マイクロ波エッチング装置「M-600シリーズ」のシステム機能・性能と、サブクォータミクロンデバイスのプロセス性能について述べた。

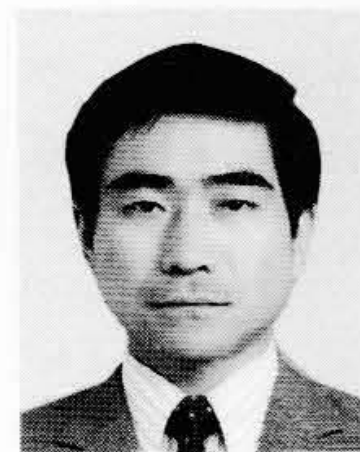
この装置は、(1) マルチチャンバ用高速搬送・制御システムによって処理能力を約2倍に高め、設備投資効率を15%以上向上することができ、(2) 低圧力マイクロ波プラズマにより、サブクォータミクロンデバイスの加工ができるという特徴を持っている。

今後も、さらに性能向上を目指した技術に取り組み、従来装置と同様、多世代にわたって長く使用できる装置を開発していく考えである。

参考文献

- 1) 田村, 外: 200 mmウェーハ対応の高密度マイクロ波プラズマエッチング装置, 日立評論, 76, 7, 531~534 (平6-7)
- 2) 吉田, 外: ニアサーフェスモデルによる新メタルエッチング(4): プロセスの検討, 第44回応用物理学関係講演会 予稿集No. 2, p. 544 (1997)

執筆者紹介



川原博宜

1974年日立製作所入社, 笠戸工場 半導体装置設計部 所属
現在, プラズマエッチング装置の開発に従事



森田光洋

1976年日立製作所入社, 半導体事業部 生産技術センター 第一生産技術部 所属
現在, プラズマエッチング装置・プロセスの合理化・改善業務に従事



児島雅之

1983年日立製作所入社, 半導体事業部 半導体技術開発センター プロセス技術開発部 所属
現在, ドライエッチング技術の開発に従事



濱崎良二

1983年日立製作所入社, 笠戸工場 半導体装置設計部 所属
現在, プラズマエッチング装置のプロセス開発に従事
E-mail: hamasaki@kasado.hitachi.co.jp