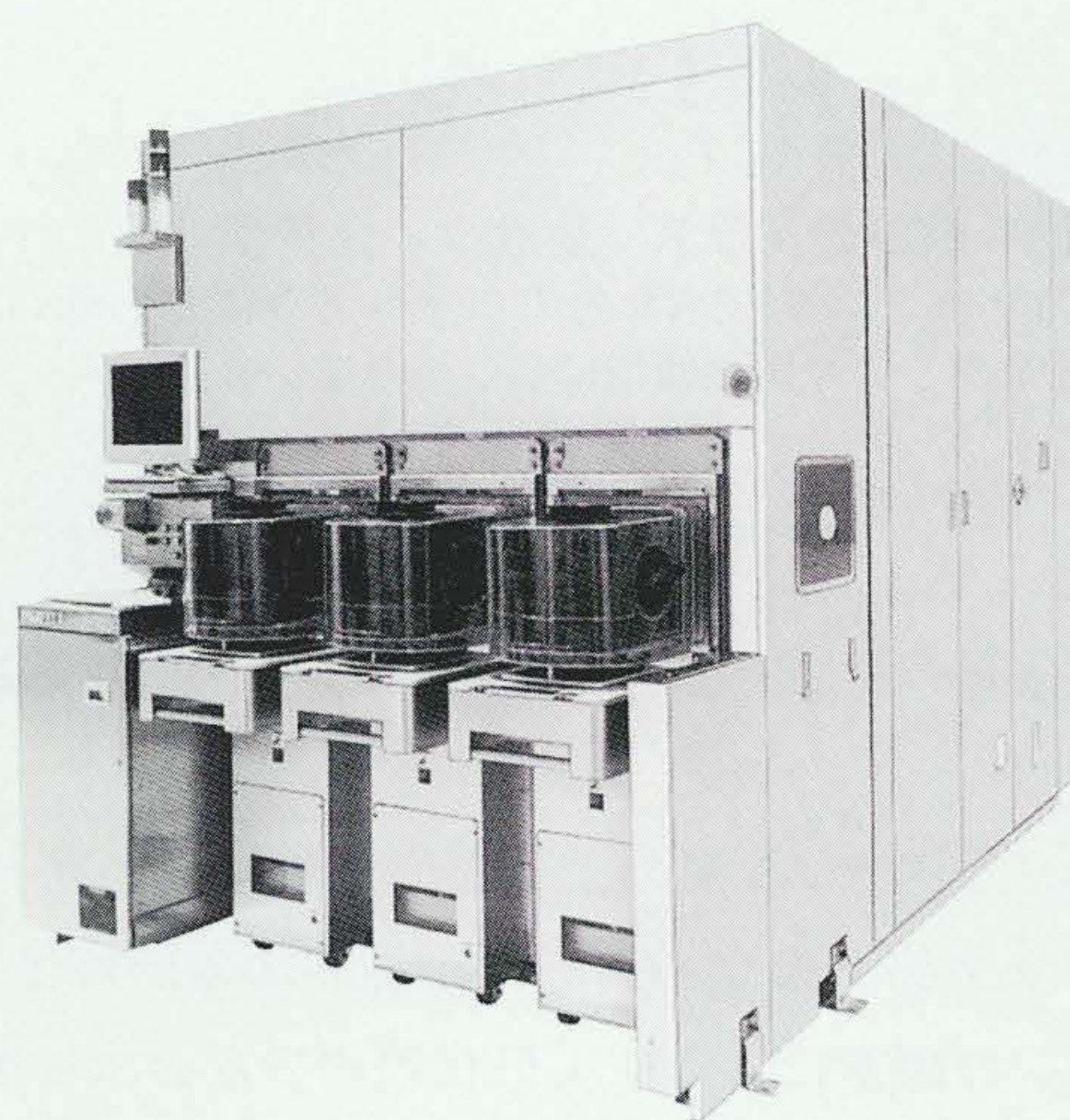


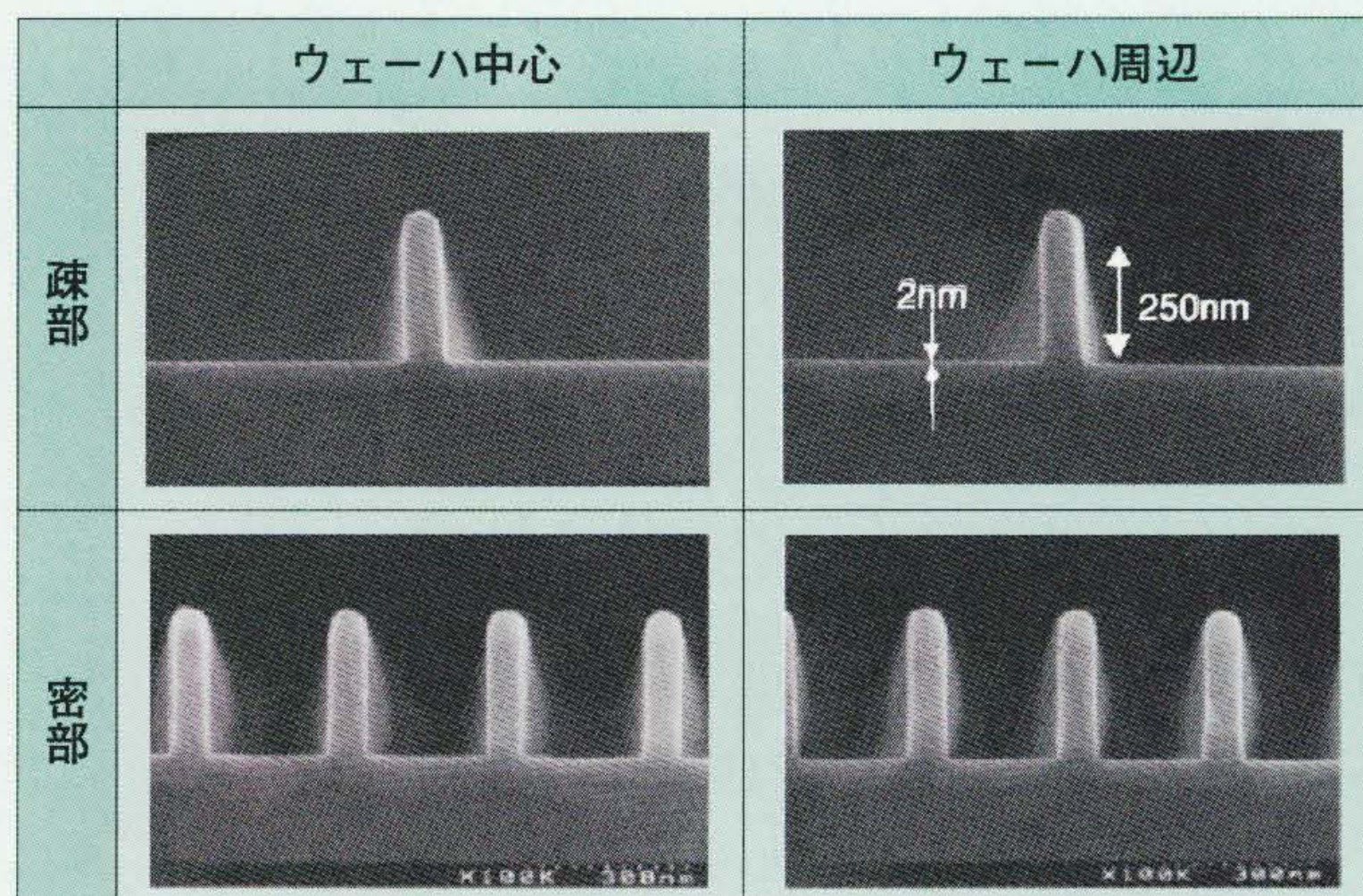
ゲート電極加工用UHF-ECRプラズマエッチング装置

UHF-ECR Plasma Etching System for Gate Electrode Processing

河村伸二 Shinji Kawamura 牧野昭孝 Akitaka Makino
板橋直志 Naoshi Itabashi 坂口正道 Masamichi Sakaguchi



(a) エッチング装置の外観



(b) 70 nm幅ポリシリコンゲート電極の加工例

エッチング装置とゲート電極のエッチング形状

開発したUHF-ECRプラズマエッチング装置は、CD(Critical Dimension：微小寸法)制御性に優れており、これによってパターンの疎密やウェーハ面内で形状差のない安定したエッチングができる。

半導体デバイスの微細化と薄膜化に伴い、ゲートエッチング装置では、厳しいCD制御の下で、チャージングダメージのない加工をすることが重要となる。また、これらの要求を、300 mm径ウェーハ全面で均一に実現する必要がある。

日立グループは、これらの課題を解決するために、UHF-ECRプラズマによって反応生成物の解離とたい積を抑え、高精度で低損傷なエッチングができる装置を開発した。

この装置では、300 mm径ウェーハ全面で0.10 μm 以降のデバイス加工を行うことができる。また、マイクロトレンチやノッチングなどの形状異常もなく、下地の絶縁膜に対して高選択比を維持したまま、高精度な加工をすることも可能である。

ポリシリコンゲートのほかにも、デュアルゲートやポリメタルゲート、STI(Shallow Trench Isolation)など、多くのプロセスアプリケーションで良好な結果を得ている。ベースフレームは量産ラインですでに高い信頼を得ている装置と同じであり、安定してデバイスを量産することができる。

1 はじめに

ゲートエッチングではこれまで、ICP(Inductively Coupled Plasma)やマイクロ波ECR(Electron Cyclotron Resonance)などの高密度プラズマ装置が主流を占めてきた。しかし、CD(Critical Dimension：微小寸法)制御性

やチャージングダメージの点でプロセスマージンが少なくなりつつあり、今後のいっそうの微細化にも対応できる新たな装置の開発が望まれていた。

1999年10月、日立グループは、低圧・中高密度領域で安定した放電が可能なUHF-ECR(Ultra High Frequency Electron Cyclotron Resonance)方式の絶縁

膜用エッチング装置を製品化した。さらに、ゲートエッチングでも、UHF-ECRプラズマ方式がこれらの課題を解決するために適切であると判断し、ゲート用UHF-ECRプラズマエッチング装置を製品化した。

半導体デバイスの微細化に伴い、エッチング装置に対する要求はますます厳しくなっている。特に、 $0.10\text{ }\mu\text{m}$ 以降のゲート微細加工では、極薄ゲート絶縁膜に対する高選択比が求められ、パターンの疎密やウェーハ面内で形状差を少なくし、チャージングダメージ(ウェーハ上の絶縁物などの帯電に起因するダメージ)のないエッチングが求められている。

ここでは、 300 mm 径ウェーハでゲート微細加工が安定してできるUHF-ECR方式のエッチング装置について述べる。

2 UHF-ECRプラズマの原理と特徴

2.1 エッチング室の構造

UHF電源から発振されたUHF波は、同軸ケーブルを通して大気中のアンテナからエッチング室内に導入される。エッチング室周辺には磁場コイルが設置され、UHF波による電場と磁場の相互作用により、低圧・中密度領域で連続的に安定したプラズマが生成される。UHF波(周波数=450 MHz)のECR条件を満たす磁束密度は 0.016 T と弱磁場になっている(図1参照)。

2.2 ゲートエッチングのためのプラズマ生成技術

ゲートエッチングに要求される項目は、CD制御、チャージングダメージ回避、下地酸化膜の高選択性など多岐にわたる。特に重要なのは、トランジスタ動作のしきい値

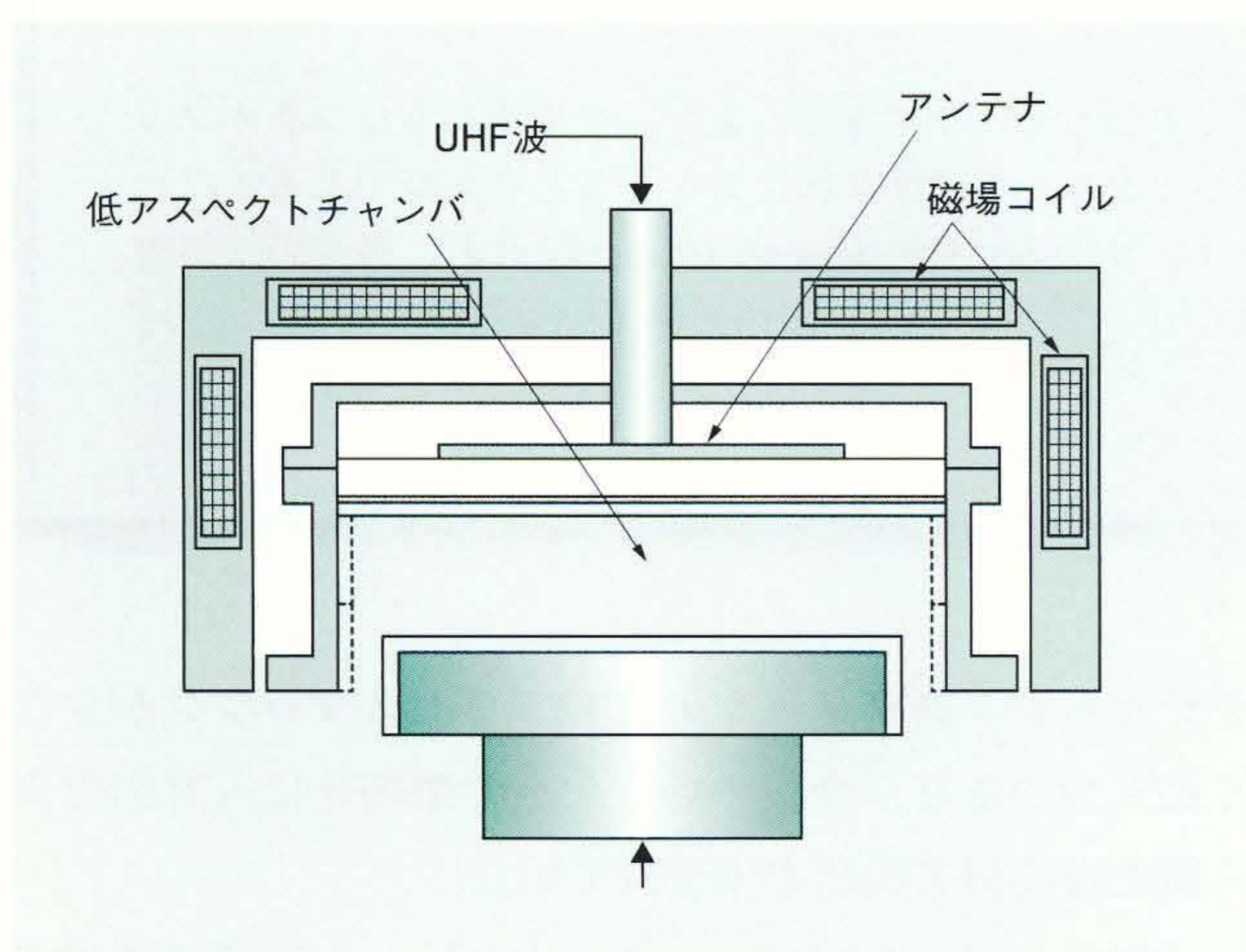


図1 エッチング室の構造

アンテナから導入されたUHF波と周辺に設置された磁場コイルにより、安定したプラズマが生成される。

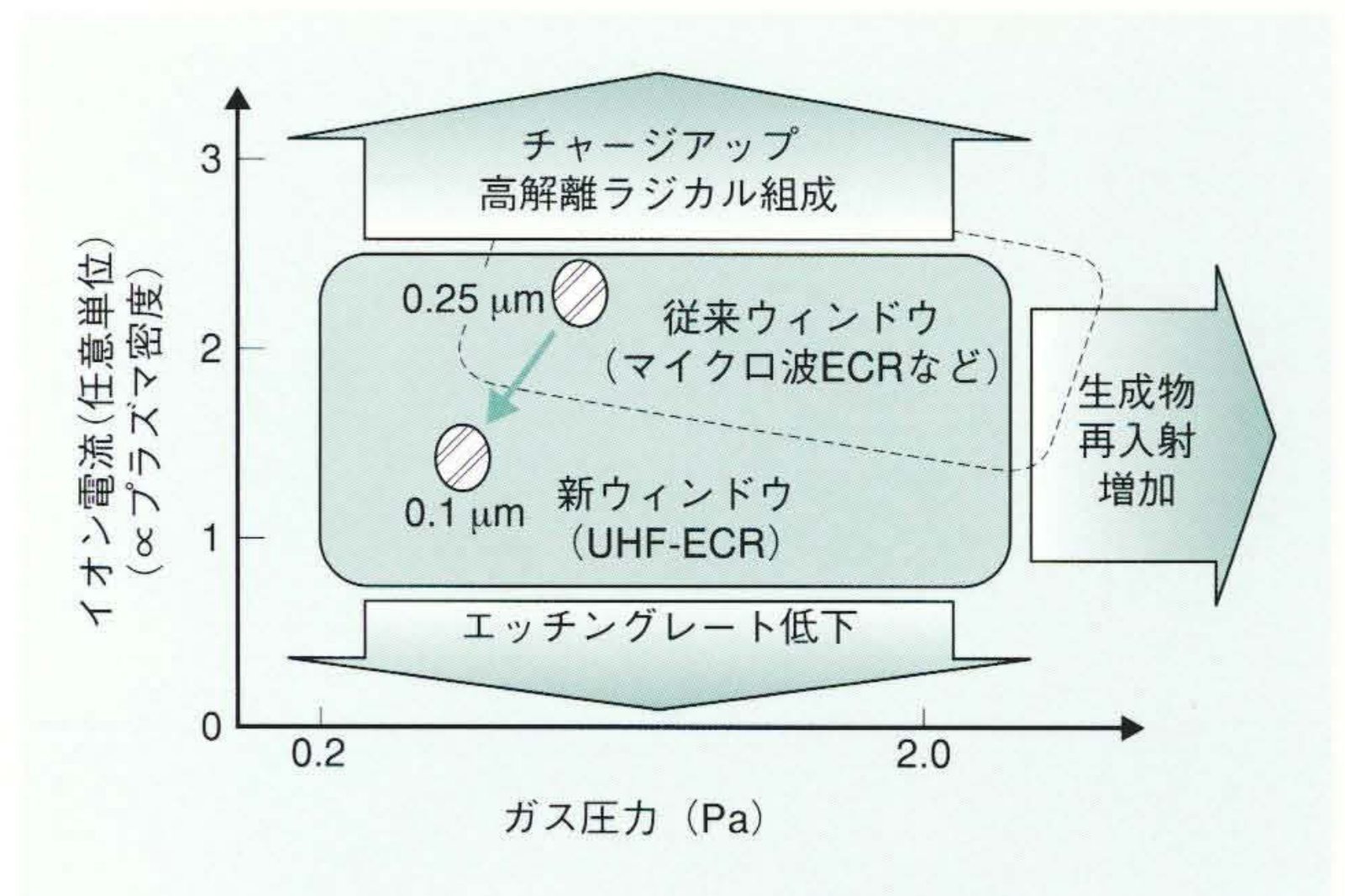


図2 UHF-ECRのプラズマ生成ウィンドウ

従来のマイクロ波ECRなどのウィンドウよりも低い圧力領域と、適切なプラズマ密度領域にシフトしている。

電圧のばらつきに直接影響するCDシフトを抑えることである。

また、システムLSIのような、メモリ部の密パターンとロジック部の孤立パターンが混在するデバイスでは、パターンの疎密による加工形状差の少ないエッチングが要求される。

CDシフトは、ウェーハ近傍で脱離したエッチング反応生成物がエッチングガスと衝突してゲートパターン側壁に吸着し、たい積膜を形成することで増大する。疎密の加工形状差も、反応生成物の影響が大きいと考えられている。CDシフトや疎密加工形状差を抑えるには、ガス衝突が少ない低圧力でのエッチングが適している。一方、プラズマ密度が高すぎる場合には、チャージアップによるデバイスダメージの懸念が出てくる。

これらのことから、ゲート電極加工に要求されるプロセスウィンドウについては、より低い圧力領域、より適切なプラズマ密度領域にシフトすることになる。開発した装置では、UHF-ECRを用い、従来のウィンドウから最適な新ウィンドウへシフトした(図2参照)。

2.3 大口径ウェーハに対応した高精度エッチング

ウェーハ全面で高い加工精度を得るためには、反応室内のプラズマと反応ガスを均一にし、ウェーハ上にたい積する反応生成物の分布を均一にする必要がある。

UHF-ECR方式での反応生成物の分布を従来の高密度プラズマ方式と比較して模式的にしたものを図3に示す。従来方式では、チャージングダメージを防ぐために反応室の高さ(ウェーハ表面から反応室上面までの距離)をある程度高くする必要があった。そのため、ウェーハの中

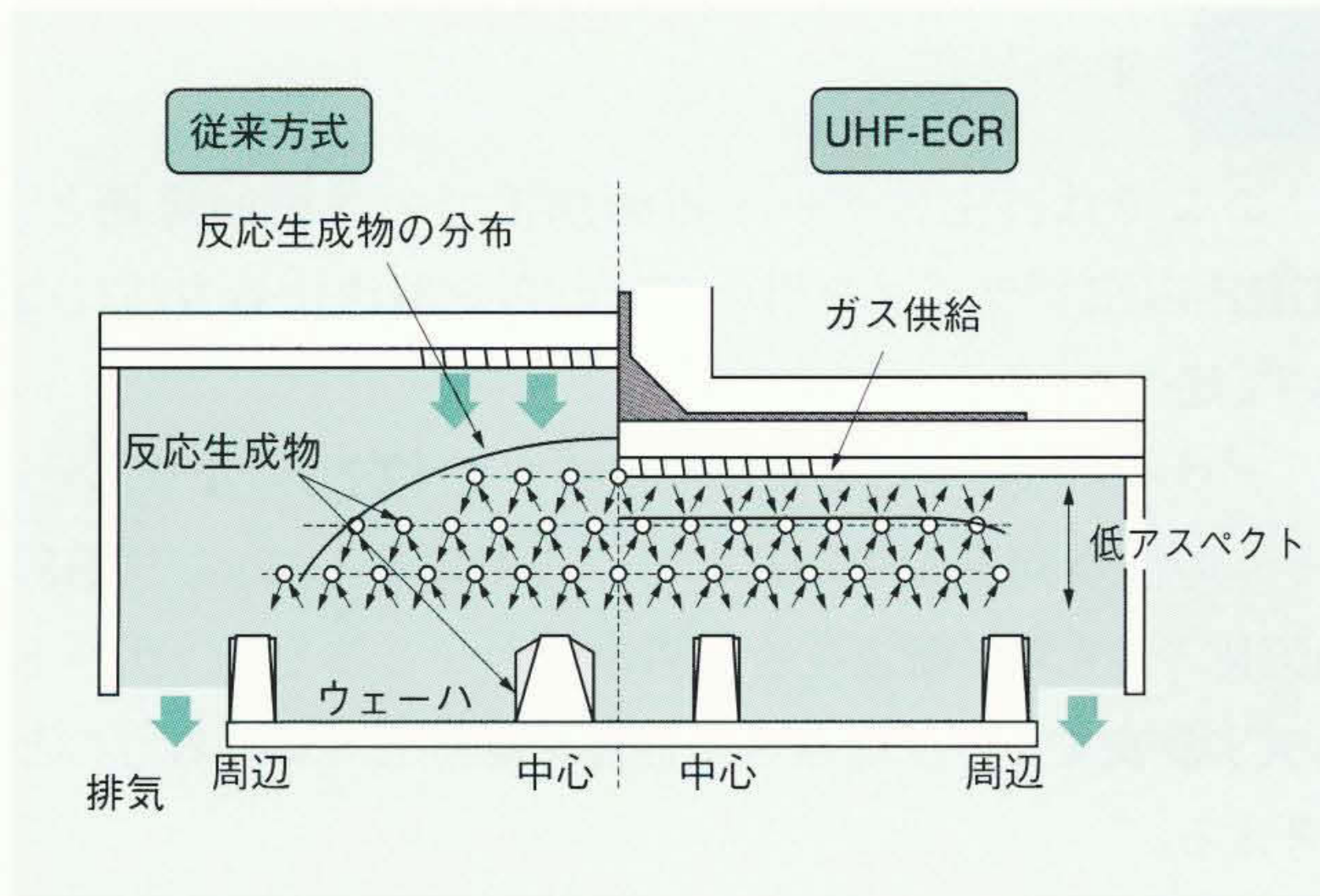


図3 反応生成物の分布

反応室の高さを低くした低アスペクト構造の最適化により、ウェーハ面内で均一な加工特性を実現することができる。

心ほど反応生成物の濃度が高くなり、ウェーハ面内でCDシフト差が生じやすいという問題があった。これに対して、UHF-ECRで生成されるのは電子温度の低いプラズマであり、反応室の高さを低くすることが可能である。このため、反応ガスの供給領域や反応室のアスペクト比（反応室の高さと内径の比）設計の最適化によって反応ガスの分布を制御し、ウェーハ表面へのたい積物分布を均一にすることができる。これにより、ウェーハ面内で均一な加工特性を得ることができる。

また、ウェーハ面内で高均一・高精度の加工ができることから、多層膜構造のゲート電極加工でも、ウェーハ全面で精度がいっそう高められる。

3 装置のシステム構成

この装置のベースフレームは、マイクロ波エッチング装置「Mシリーズ」で実績のあるベースフレームと同じマルチチャンバシステムである。エッチング室が2室あり、オプションとしてアッシング室を最大2室まで増設できる構成としている。

4 エッチング性能例

UHF-ECRプラズマによる各種ゲート材料のエッチング性能例について以下に述べる。UHF-ECRプラズマの特徴を示すために、特に断りのないものは200 mm径ウェーハでのデータを用いている。

4.1 ポリシリコンゲートのエッチング例

70 nmの微細ポリシリコンゲートをエッチングした例を図4に示す。下地のゲート酸化膜厚は2 nmである。マイクロトレンチやノッチングといった形状異常もなく、

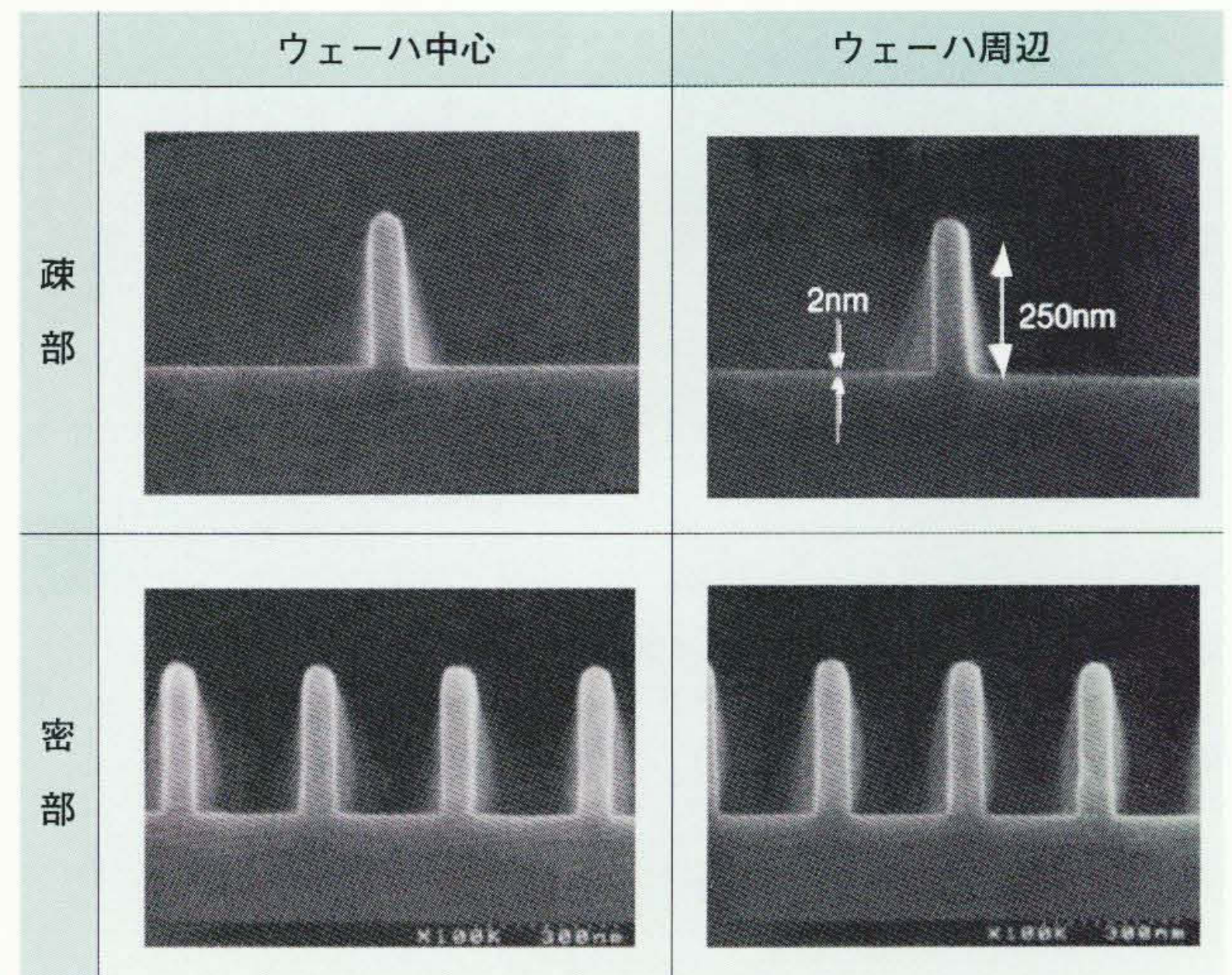


図4 70 nmの微細ポリシリコンゲートのエッチング例

ウェーハ中心と周辺およびパターンの疎密部間で形状異常がなく、CDシフトの小さいエッチングが実現できた。

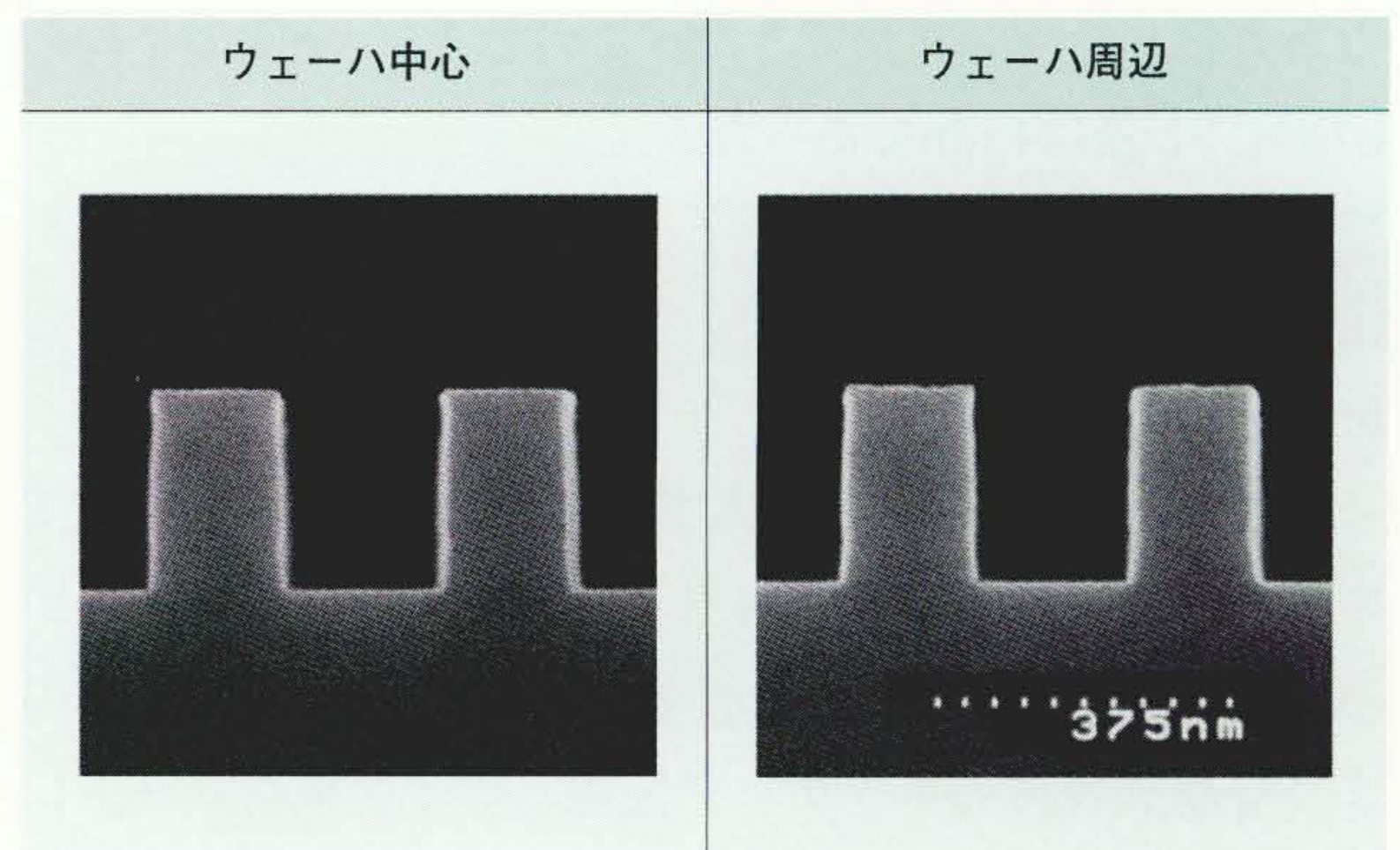


図5 300 mm径ウェーハでのエッチング加工例

300 mm径ウェーハ前面で、形状差の小さい、均一性のよい加工特性が得られている。

下地のゲート酸化膜に対して高選択性を維持したままで垂直エッチングができた。疎密部間のCDシフト差も小さく、200 mm径ウェーハ全面で加工精度5 nm以下とすることができた。

300 mm径ウェーハでのエッチング加工例を図5に示す。200 mm径ウェーハから300 mm径ウェーハへのプロセス拡張は容易であり、300 mm径ウェーハ全面で均一性の高い加工特性を得た。

4.2 デュアルゲートのエッチング例

デュアルゲートのエッチングでは、p-n間で加工特性の差が小さいことが要求される。UHF-ECRプラズマは電子温度が低く、低アスペクト構造の反応室ではガス滞在時間が小さいので、反応ガスや反応生成物の過剰な解離が抑えられ、p-n間の加工特性差を低減することがで

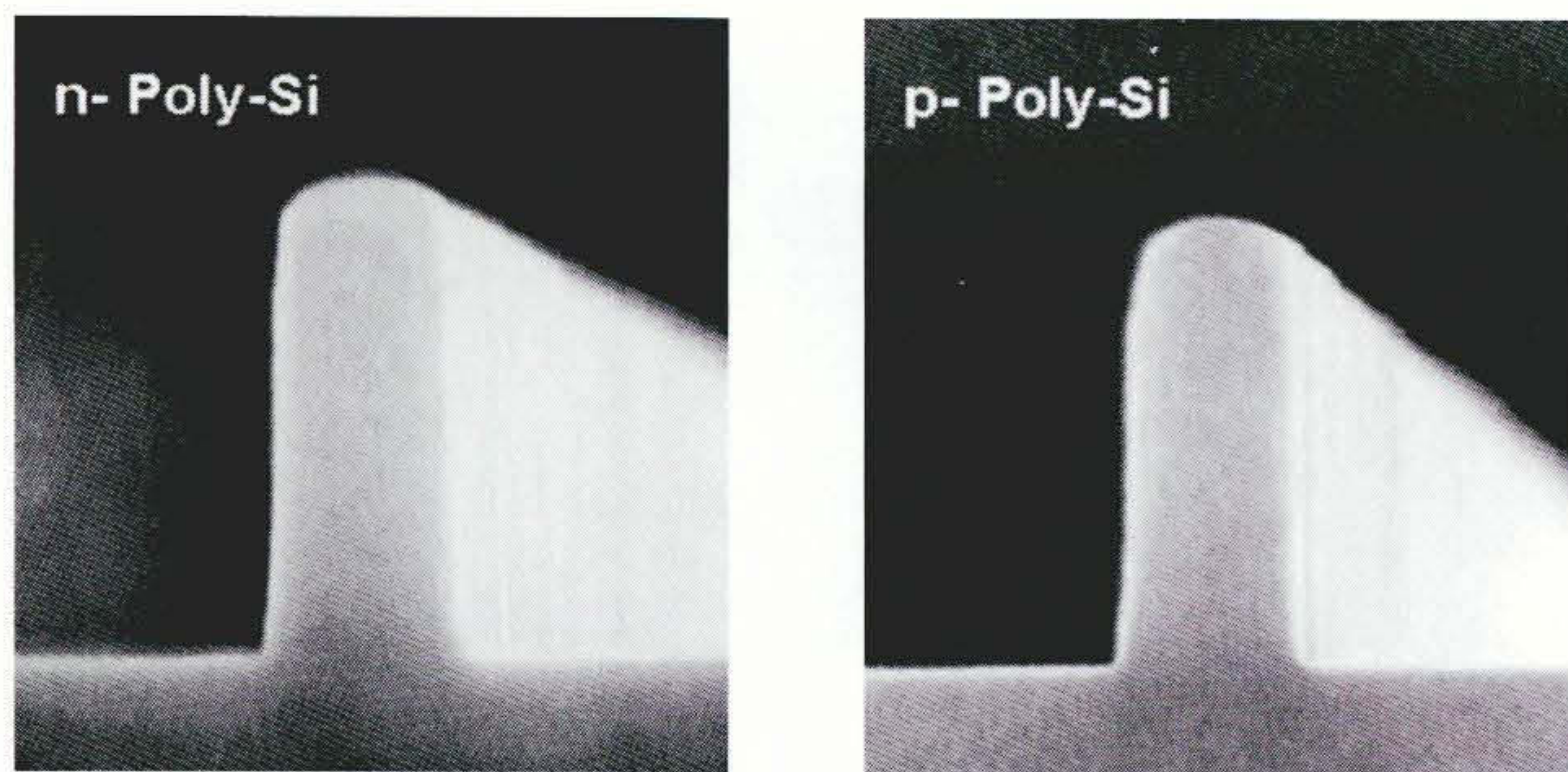


図6 線幅80 nmのエッチング加工例

マイクロトレンチやノッチングといった形状異常のない、p-n間のCDシフト差の小さいエッチング形状が得られた。

きる。

線幅80 nmの孤立パターンでのデュアルゲートのエッチング加工例を図6に示す。マスクはハードマスク、下地のゲート酸化膜厚は3 nmである。マイクロトレンチやノッチングといった形状異常もなく、テーパ角89度以上の異方性エッチングができた。このとき、p-n間の平均のCDシフト差は4 nmであった。

5 今後の対応

5.1 微細化プロセス

CD制御性を飛躍的に向上させるためには、UHF-ECRプラズマの特徴である面内均一性をさらに高める必要がある。また、CD-SEM(走査電子顕微鏡)や光学式CDのような検査装置のエッチング装置とのインテグレートにより、CD変動の監視と制御性の向上を図るための検討を進めている。

5.2 生産性向上およびコスト低減

生産性向上とコスト低減については、OEE(Overall Equipment Effectiveness)の向上やNPW(Non-Product Wafer: 非生産ウェーハ)削減を含めた消耗部品コストの低減が課題である。CDの安定的制御のために、APC(Advanced Process Control)やOES(Optical Emission Spectroscopy)などを利用した*in situ*(「その場」での)装置状態管理、NPW削減や歩留り向上を目的とした*in situ*異物モニタなどの導入を検討している。

6 おわりに

ここでは、主にゲート電極加工での各種の課題と、UHF-ECRプラズマを用いてそれらを解決する方法について述べた。

デバイスに対する要求は今後ますます厳しくなり、いっそうの性能向上が求められる。これに対しては、UHF-ECRプラズマと周辺技術を組み合わせることで、ゲートのCD制御でトップクラスの性能を維持していけるものと考ええる。

日立グループは、今後も装置のポテンシャルを生かした性能向上に努め、技術開発を進めていくとともに、積極的な提案により、微細加工技術の進展に貢献していく考えである。

参考文献

- 1) 大形, 外: ゲート用プラズマエッチング装置, 電子材料(2001.3)
- 2) 板橋, 外: LSI微細加工プロセスへのUHF-ECRプラズマ応用, 電気学会予稿集(2001.3)

執筆者紹介



河村伸二

1984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括本部 製品技術部 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: kawamura-shinji @ nst. hitachi-hitec. com



板橋直志

1992年日立製作所入社, 中央研究所 先端技術研究部 所属
現在, ドライエッチング装置とプロセスの研究・開発に従事

応用物理学会会員

E-mail: naoshi @ srl. hitachi. co. jp



牧野昭孝

1990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の設計に従事

E-mail: makino-akitaka @ sme. hitachi-hitec. com



坂口正道

1989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・プロセス業務に従事

E-mail: sakaguchi-masamichi @ sme. hitachi-hitec. com