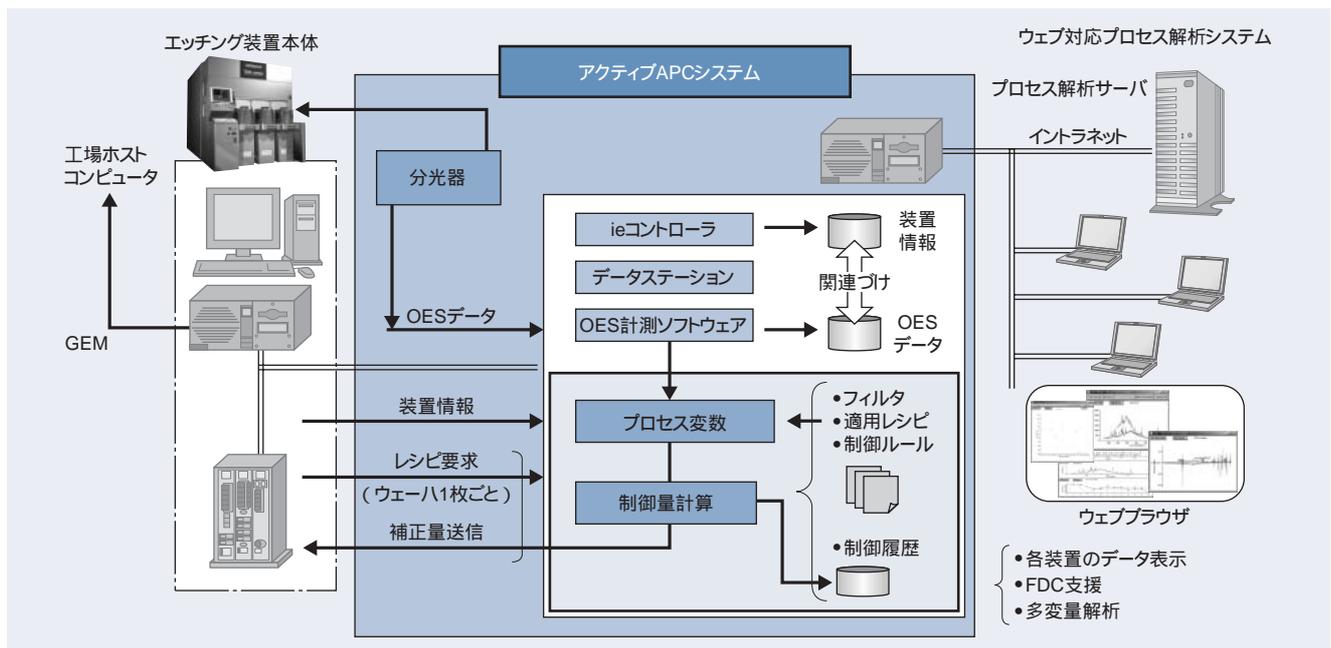


# アクティブAPCシステム搭載 高精度エッチング装置

## High-Accuracy Etching System with Active APC Capability

幾原 祥二 *Shoji Ikuhara*白石 大輔 *Daisuke Shiraishi*鹿子嶋 昭 *Akira Kagoshima*田中 潤一 *Jun'ichi Tanaka*

注：略語説明 APC(Advanced Process Control), OES(Optical Emission Spectroscopy), GEM(Generic Equipment Model), ie(Intelligent Etcher), FDC(Fault Detection and Classification)

### アクティブAPCシステムを搭載した高精度エッチング装置の全体構成

このエッチング装置では、エッチング装置情報とOESデータを自動収集し、ネットワークに接続するとともに、解析サーバを設置することにより、ネットワークに接続されたパソコン上で、各種プロセス情報を解析することができる。また、搭載されたアクティブAPCシステムにより、ウェーハ1枚ごとにきめ細かなエッチングパラメータの制御が可能である。

半導体デバイスの微細化・高精度化に伴い、エッチング工程に対する要求はますます厳しくなっている。

微細化・高精度化や多品種少量生産が進む中で、装置や製品による変動に対しても、常に最適なプロセス処理条件を設定することが求められる。その結果、半導体工場の上位ホストコンピュータと装置間に流れる情報量の肥大化を招くとともに、半導体デバイスメーカー側のプロセスエンジニアも過大な負担を強いられている。

株式会社日立ハイテクノロジーズは、従来の半導

体デバイスでは問題とならなかった処理状況の微小な変化に着目し、工場側の上位ホストコンピュータを介することなく、高精度エッチング装置に対応したアクティブAPCシステムを開発した。これにより、ロット内でのウェーハ間や、ロット間のエッチング性能再現性はもちろんのこと、ウェットクリーニング前後も含めた長期再現性を実現することが可能となった。

アクティブAPCシステムを搭載した高精度エッチング装置はすでに量産ラインで評価、運用されており、安定した半導体デバイスの生産に寄与している。

## 1 はじめに

90 nm以降のゲート微細加工では、リソグラフィー以後の工

程の検査・処理情報を基に、最適な加工処理結果が得られるように、エッチング装置に対する処理レシピの設定変更や、バリアブルパラメータなどによる細かな管理を行う重要性が増してきている。

株式会社日立ハイテクノロジーズは、90 nmノード以降の半導体デバイスの微細化、高精度化と、装置実稼働率の向上やトータルコストの低減を目指し、エッチング性能の再現性に優れた高精度エッチング装置を提供するために、アクティブAPC Advanced Process Control システムを開発した。

このシステムは、最先端の半導体デバイスに対応しており、従来のデバイスでは問題とならなかった処理状況の微小な変化を的確にとらえ、ウェーハ1枚ごとに、きめ細かな制御を行うことを可能にした。

ここでは、このシステムの特徴と、今後の展望について述べる。

## 2 アクティブAPCシステムの構成とプロセス解析

アクティブAPCシステムは、データ収集・プロセス制御を行うコントローラと、アドオンセンサである発光分光器から成る(35ページの図参照)。

高精度エッチングを実現するためには、ウェーハ1枚ごとにきめ細かなプロセス制御を行う必要がある。アクティブAPCシステムでは、エッチング装置システムから得られる装置状態データ(装置からの電気的信号など)や発光分光器を介して得られるプラズマのOES(Optical Emission Spectroscopy: 発光分光法)データをリアルタイムに収集し、それらをロット情報などの生産管理情報と関連づけて管理している。また、このように管理されたデータを、一時的にデータベースとして格納しておくサーバの役割も果たしている。

一方、プロセス制御を行う場合には、アクティブAPCシステ

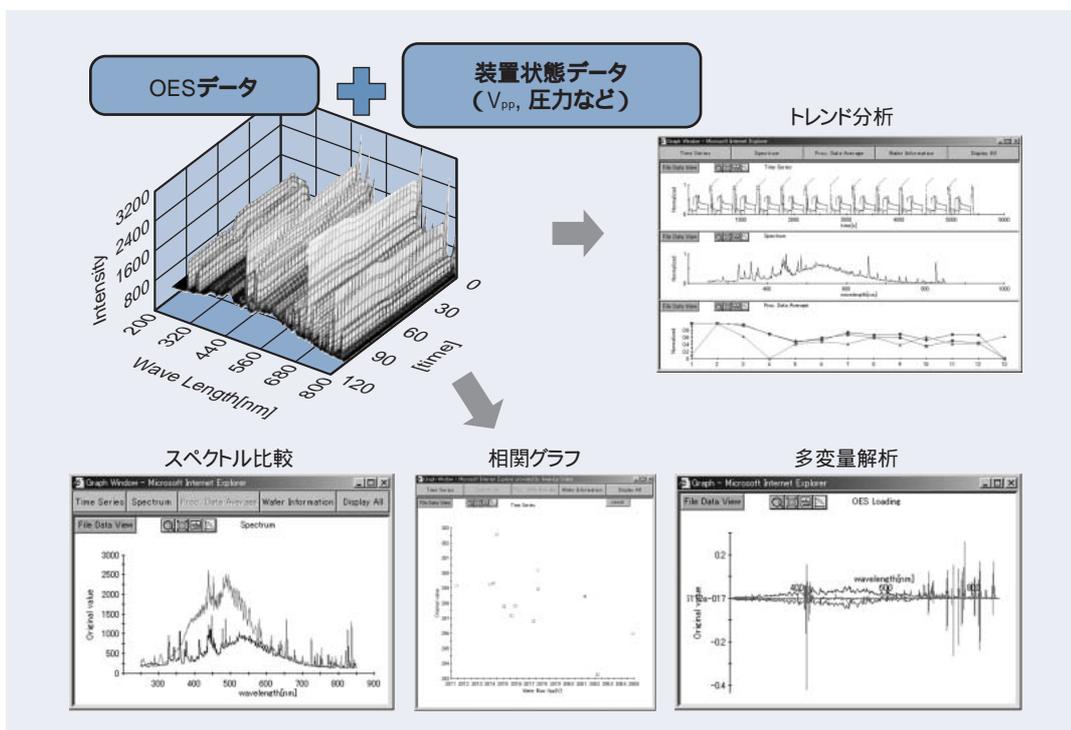
ムとエッチング装置のコントローラ間で制御コマンドとデータの授受が行われるため、株式会社日立ハイテクノロジーズ製のエッチング装置にマッチした制御シーケンスを実現している。

さらに、このシステムは、プロセス解析のためのプラットフォームとしても機能する。具体的には、アクティブAPCシステムをイントラネットに接続して、ユーザーのイントラネット上にウェブサーバを追加設置することにより、ネットワークを介して各エッチング装置と接続され、装置状態データやOESデータが生産管理情報とともに、定期的にウェブサーバにミラーリングされる。その結果、顧客のパソコンと標準のウェブブラウザだけで、多彩なグラフ表示と解析機能を持つプロセス解析システムが利用でき、多量に蓄積されたデータから必要な情報を的確に抽出することができる。

プロセス解析システムの目的は、アクティブAPCを作動させるうえで最も重要となるプロセス解析を支援することである。例えば、対象となるプロセスの特性変化と、装置状態データやOESデータのモニタリングされた値との関係を明らかにするなどである。ウェブ対応プロセス解析システムでは、ウェーハごとの解析にとどまらず、ロット内やロット間のトレンド分析、プラズマ発光のスペクトル解析や多変量解析など、ユーザーの解析支援を行うツールとしての機能を備えている(図1参照)。

## 3 アクティブAPCの実行手順

ドライエッチングプロセスでは、プラズマ中のイオン・ラジカル・反応生成物のバランスがエッチング形状を決める重要な要素である(図2参照)。例えば、プラズマ中の反応生成物



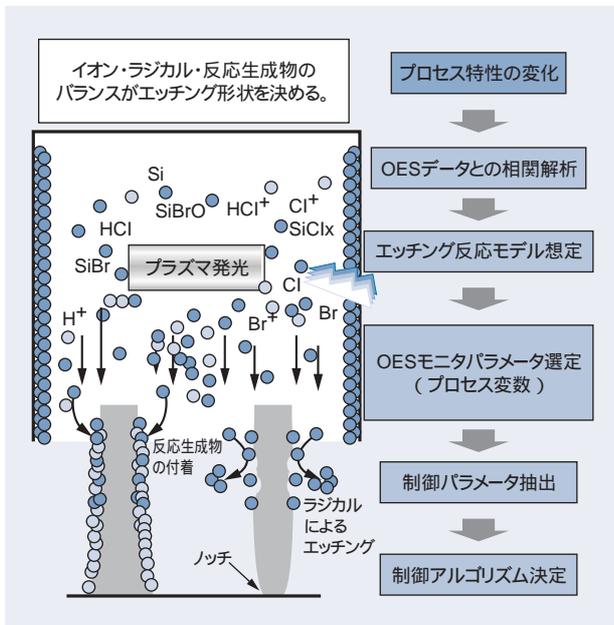


図2 エッチング反応モデルと制御アルゴリズム決定の流れ  
エッチング中のOESデータからエッチング反応モデルを想定し、高い再現性が得られる制御アルゴリズムを決定する。

(ポリマー)の量が過剰であれば、図2左のようなテーパ形状のプロファイルとなり、逆に反応生成物の量が少なければ、同図右のようなノッチが入ったプロファイルになる。

したがって、上記の各成分のバランスをモニタできれば、そのモニタ結果からエッチング性能を類推することができる。

プラズマのバランスを観察する手段としては、プラズマ発光を分光してモニタするOESがある。

例として、このOESデータを利用したアクティブAPC実行のための手順について以下に述べる。

(1) モニタパラメータの選定

まず、プロセス特性変動が問題となっているプロセスの変動と、OESデータとの相関関係を見つけ出す必要がある。OESデータは2,048チャンネルのデータを1秒以下のデータサンプリング間隔で収集しているため、膨大な情報量となる。この情報から、分光された特定の波長を抽出するだけでなく、エッチングの反応モデルやモニタリングの外乱要因を想定し、複数の波長から得られる情報を組み合わせて、プロセス変数として利用しなければならない場合もある。

ここで注意しなければならないのは、プロセス特性の変動に伴い、多数のパラメータが同時に変化しているという点である。変化しているパラメータの中には、特性変化の結果として変化しているものもあるため、特性変化の原因に最も近いパラメータが何であるかを見極めることが重要である。

(2) 制御パラメータの抽出

次に、プロセス変数に対する制御パラメータを決定する必要がある。すなわち、得られたプロセス変数に対して、エッチング条件でのガス流量値や電力値などの中で、どの設定値をアクティブAPCの制御対象とするかを決定する。決定され

た制御パラメータについては、その制御性やロバスト性などを実験的に検証する必要がある。

このように、アクティブAPCを実行するためには、実験的な手順を多く踏まなければならない。これは、一般的な制御システム実行のための手順と同様である。

(3) 制御アルゴリズムの決定

アクティブAPCの実行概念を図3に示す。アクティブAPCシステムでは、プロセス特性変動と相関のあるプロセス変数を、指示された制御目標値に収束させるように制御パラメータを補正する。すなわち、該当するエッチング処理室の前のエッチング結果から得られたプロセス変数値と制御目標値との偏差から、今回のエッチングにおける制御量を決定する。

アクティブAPCを実行するうえで注意しなければならないのは、エッチング装置が制御モデルで想定していた範囲外の状態となった場合、異常な制御にならないようにしなければならないという点である。アクティブAPCシステムでは、プロセス変数や制御パラメータとともに、制御の上限値と下限値を設定できるようにしており、それを検出した際には異常な制御とならないようにしている。

また、実際にアクティブ制御を実行するうえで重要となってくるのが、制御ゲイン・オフセットといった制御定数の決定である。適切な制御定数を設定しないと、アクティブAPCの制御系が不安定となり、最悪の場合、製品ウェーハで誤ったものが作り込まれてしまう可能性が出て来る。しかし、実際にエッチング装置でアクティブ制御を行いながら制御定数の検討を行うのは、莫大なコストと時間を要し、現実的ではない。そのため、アクティブAPCシミュレータを開発した(図4参照)。こ

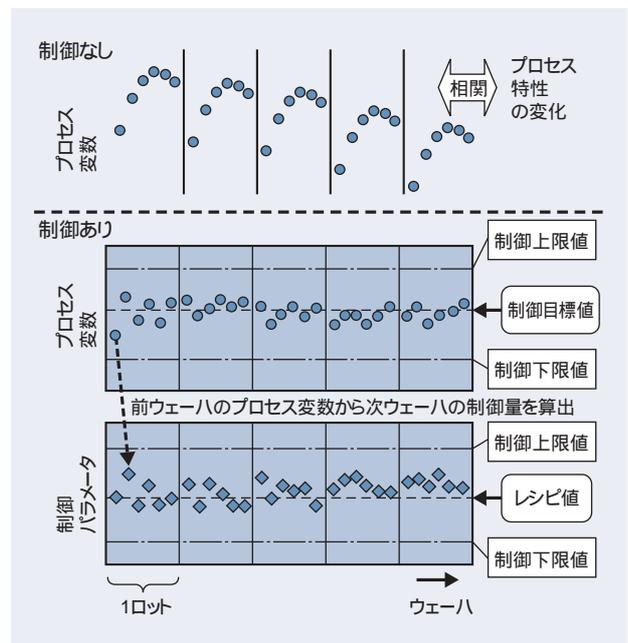


図3 アクティブAPCの実行概念  
制御方法は、前回のプロセスモニタ結果と制御目標値との偏差から、今回のエッチング条件を決定する「ラントゥーラン」制御である。

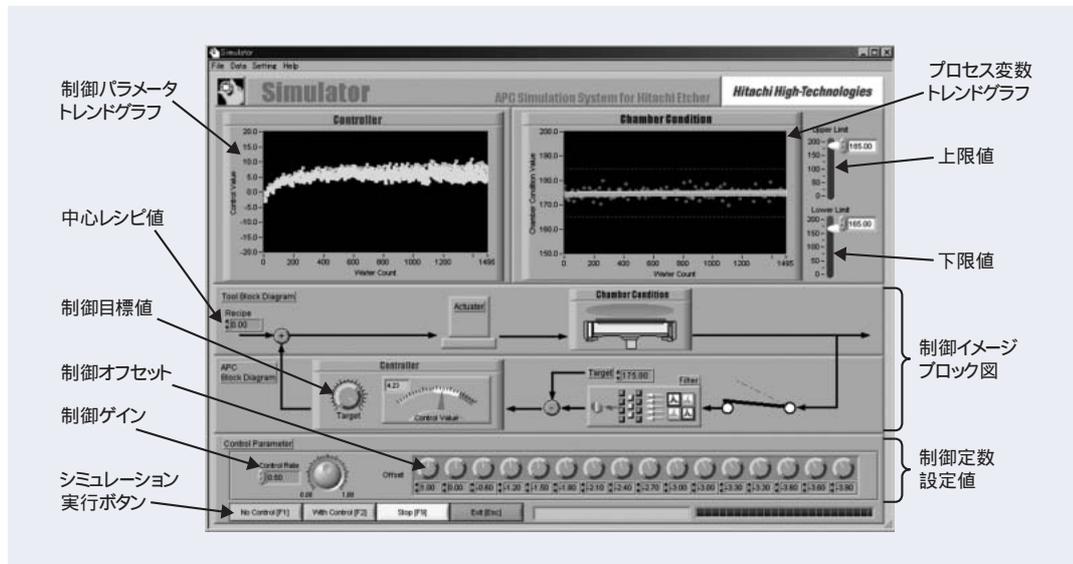


図4 アクティブAPCシミュレータ

実際にアクティブ制御を行う前に、最適な制御定数をシミュレーションで求めることができる。

のシミュレータでは、プロセス解析で得られた過去のプロセス変数の変動を、制御モデルに当てはめてシミュレーションを行う。このシミュレータを用いることにより、実際にアクティブ制御を行う前に、最適な制御定数をシミュレーションで求めることができる。

上述した制御システムを顧客の量産プロセスに適用した結果、以下の成果が得られた。

(1) エッチング性能が安定するため、装置のメンテナンス頻度を減少させることが可能となり、その結果、ウェットクリーニング周期を2倍以上延長できた。

(2) 装置のコンディションを整えるための、NPW( Non-Product Wafer )の使用量を大幅に減少させることができた。

また、シミュレータの効果としては、このソフトウェアで最適化した制御定数を適用することにより、制御結果のばらつきが、3シグマで約 $\frac{1}{5}$ に減少しており、効果が確認された。

## 4 おわりに

ここでは、エッチングにおけるアクティブAPCシステムの原理、適用事例、および制御実行のためのシステムについて述べた。

今後、エッチング装置の性能に対する要求はますます厳しくなっていくことが予想され、また、同一装置の多世代にわたる半導体デバイスへの適用も必要になると考える。

株式会社日立ハイテクノロジーズは、今後も装置本体の基本的な性能向上を図るとともに、APCシステムの適用範囲のいっそうの拡大により、顧客の要望にこたえていく考えである。

## 参考文献

- 1) 山本, 外: プラズマエッチング装置におけるAPC技術, SEMIテクノロジーシンポジウム 2001( 2001.12 )
- 2) 宇佐美, 外: 次世代半導体生産を実現するe-Manufacturingへの取り組み, 日立評論, 84, 3, 226 ~ 230( 2002.3 )

## 執筆者紹介



幾原 祥二

1980年日立テクノエンジニアリング株式会社入社、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部 笠戸事業所 半装設計部 所属  
現在、ドライエッチング装置のAPC技術の開発に従事  
E-mail : ikuhara-shoji @ sme. hitachi-hitec. com



鹿子嶋 昭

1989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部 笠戸事業所 半装設計部 所属  
現在、ドライエッチング装置のAPC技術の開発に従事  
E-mail : kagoshima-akira @ sme. hitachi-hitec. com



白石 大輔

1998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部 笠戸事業所 半装設計部 所属  
現在、ドライエッチング装置のAPC技術の開発に従事  
E-mail : shiraiishi-daisuke @ sme. hitachi-hitec. com



田中 潤一

1991年日立製作所入社、中央研究所 ソリューションLSI開発センター 先端技術開発部 所属  
現在、ドライエッチング装置のAPC技術の研究開発に従事  
E-mail : j-tanaka @ crl. hitachi. co. jp