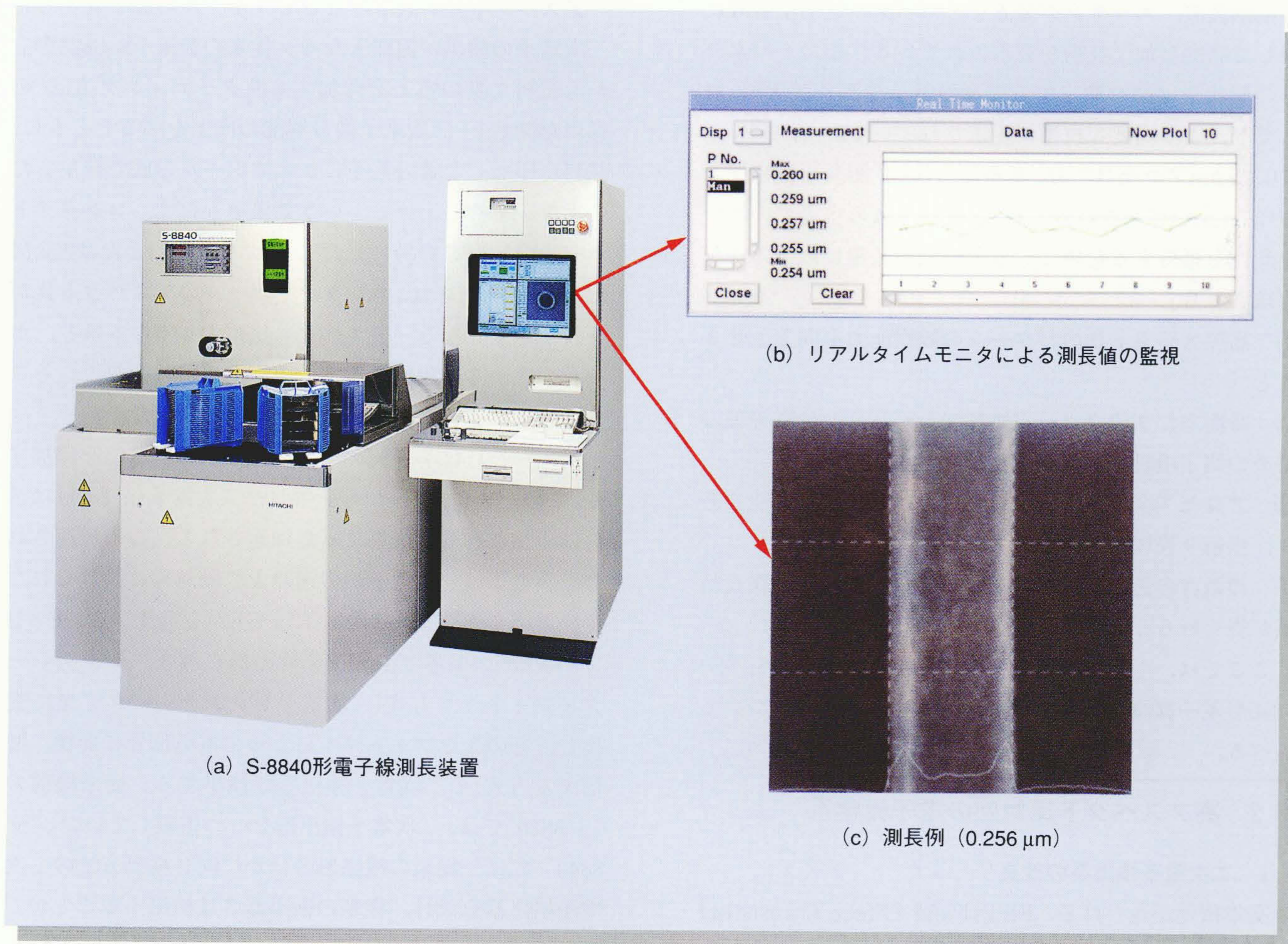


# 高分解能電子線測長装置

High-Resolution Electron Beam Length Measuring Equipment

大高 正 *Tadashi Ôtaka* 笹田勝弘 *Katsuhiko Sasada*  
江角 真 *Makoto Ezumi* 前田達哉 *Tatsuya Maeda*



(a) S-8840形電子線測長装置

(b) リアルタイムモニタによる測長値の監視

(c) 測長例 (0.256  $\mu\text{m}$ )

## S-8840形電子線測長装置

S-8840は、高分解能、自動測定機能、高スループットを実現し、クォータマイクロンプロセスに対応した電子線測長装置である。異物検査システムとのリンクにより、製造プロセスの信頼性向上にも寄与できる。

半導体デバイスの製造ラインでは、16 Mビット DRAM(Dynamic Random Access Memory)の量産体制を確立し、64 Mビットの量産が開始され、256 Mビットから1 GビットDRAMの量産のための研究・評価が進められている。このように微細化・高集積化が進んだデバイスでは、加工形状を高分解能で観察し、さらに高精度に寸法管理を行うための高度な評価技術が不可欠となる。

日立製作所は、これらのニーズにこたえるため、走査電子顕微鏡の技術を用いた電子線測長装置「S-8820シリ

ーズ」を製品化している。今回、さらに性能向上を図り、次世代のプロセスに対応が可能なS-8840形電子線測長装置を開発した。この装置では、高アスペクト比のコンタクトホールなどの底部の状態を観察するために、新しい方式の信号検出機能を採用した。また、ウェーハ処理能力も従来機種に比べて約50%改善し、コストパフォーマンスを向上させた。今後のいっそうの自動化や、プロセス全体の歩留り向上に寄与する不良解析システムにも拡張できるようにしている。

## 1. はじめに

半導体の製造プロセスでは、16 Mビット DRAM (Dynamic Random Access Memory) の量産から、64 Mビットまたは256 Mビット DRAM の量産に向けての研究・開発が進められている。64 Mビット DRAM での設計ルールは0.25  $\mu\text{m}$ 程度となり、縮小投影露光装置、電子線描画装置、エッチング装置などのパターン加工装置に対して高度な加工技術が要求されている。また、パターンの形状や寸法を測定するための電子線測長装置<sup>1)</sup>に対しても、より高度な技術が要求されている。

0.25  $\mu\text{m}$ プロセスでは、観察像分解能、測長再現精度ともに5 nmが要求される。また、デバイスの市場での高い生産性を維持するために、電子線測長装置に以下の点が要求される。

- (1) 高アスペクト比のパターンの観察能力を向上させること
- (2) 時間当たりのウェーハ処理能力が高く、品質管理のための測定項目を短時間で処理できること
- (3) プロセス全体を制御するシステムと接続が可能であり、歩留り管理ツールとして使用可能であること
- (4) 複数台の装置に対して、装置ばらつきのない測長結果が得られること

ここでは、上記の要求を実現するために開発した「S-8840形電子線測長装置」(以下、S-8840と略す。)について述べる。

## 2. 高アスペクト比対応の電子光学系

### 2.1 二次電子検出系の改良

高集積化が進むほど、FET(Field-Effect Transistor)

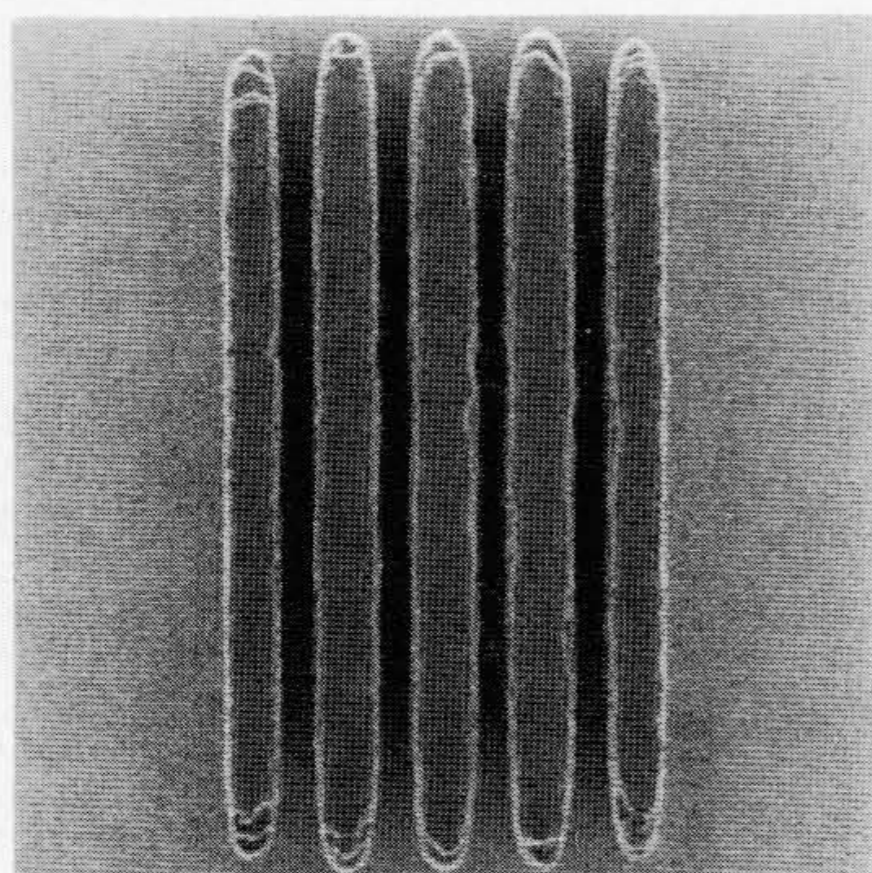


図1 改良前の検出系によるパターンの観察例

S-8820によるパターンの観察例を示す。スペース部分で発生した二次電子の検出が不十分なため、スペースの構造が明確に確認できない。

のゲートや、層間の配線を接続するためのコンタクトホールサイズが小さくなる。また、多層化が進むため、コンタクトホールが深くアスペクト比が大きくなり、製造過程でエッチング残りなどによる不良が発生しやすい。したがって、エッチング加工技術の向上とともに、レジストの残渣(さ)の確認、ホール形状の観察や寸法計測が、プロセス全体の歩留りを大きく左右する。

アスペクト比が大きくなると、ホールの底で発生した二次電子の検出が困難となる。従来の装置「S-8820形」から試料に負の電圧を印加するリターディング方式<sup>1)</sup>の採用を開始し、二次電子像分解能の向上を図るとともに、試料に印加した負の電圧によってホールの底で発生した二次電子を押し上げるという効果をもたせ、コンタクトホールの観察を容易にした<sup>2)</sup>。しかし、64 Mまたは256 Mビット DRAM では、コンタクトホールのアスペクト比が5~7程度となる。アスペクト比が大きくなるほど、ホールの底からの放出二次電子の検出が困難となる。そこで、以下に述べる検出系の性能向上を図った。

ウェーハにはリターディング光学系の負電位を印加する。このために、試料から発生した二次電子(a-SE1)は試料に印加された電位によって加速される。この加速された二次電子は一次電子線の通路上で軸対称に設けられた変換電極に衝突し、二次電子(a-SE2)を発生する。E×Bフィルタ<sup>1)</sup>の電界でa-SE2を検出器に導き、シンチレータ・フォトマル方式(二次電子をシンチレータで光に変換し、その光をフォトマルによって電気信号に変換、増倍する方式)の二次電子検出器で検出する。従来機種「S-8820」では、二次電子検出器を一つ搭載していた。「S-8840」では、従来の検出器のほかにも同じ検出方法の二次電子検出器を設け、従来の検出器では検出することがで

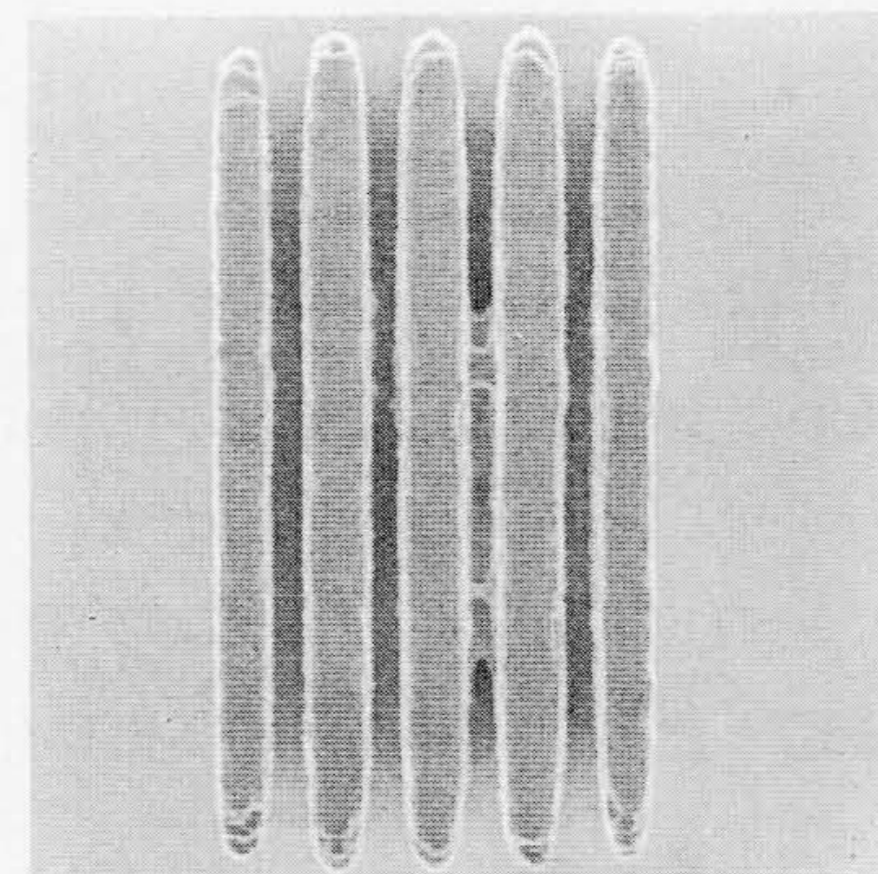


図2 改良した検出系によるパターンの観察例

検出系を改良したS-8840により、図1と同一のパターンを観察した例を示す。レジストによるラインが完全に分離していない様子が明確に観察できる。

きない、ホールの底で発生した二次電子を検出するようにした。

従来の検出系でウェーハを観察した例を図1に、改良した検出系を搭載したS-8840で、同一のウェーハを観察した例を図2にそれぞれ示す。試料は、アスペクト比が7のレジストのラインアンドスペースである。従来の装置ではスペース部分からの二次電子検出が困難であったため、スペース部分が暗くなっている。今回は、追加した検出器がスペース部分で発生した二次電子を検出するため、明るくなっている。この結果、ラインどうしの分離の状態がより良く観察されるようになり、寸法計測の精度が向上する。

### 2.2 ウェーハの絶縁膜への対策

半導体の製造プロセスの過程には、パターンをウェーハ上に転写するためのレジスト塗布、または素子間を電気的に分離するための絶縁膜を形成する工程がある。これらの工程の後、レジストや絶縁膜の除去が不十分でウェーハ側面や裏面に酸化膜などが残る場合があり、ウェーハと装置との間の電気的な接続がとれなくなることがある。この状況で測定を行うと、ウェーハ内に電荷がしだいにたまり、電気的に不安定な状態(チャージアップ)となる。この状態ではコントラスト異常が発生し、また寸法計測が不可能となる。

S-8840では、このように絶縁膜に覆われているウェーハについても正常に観察できるように改良を加えた。絶

縁膜の対策方法と実際の装置で像観察を行った結果を図3に示す。これまでは、ウェーハの側面だけから試料との導通をとっていたが、ウェーハ裏面からも導電性材料を使って導電性を持たせる構造にした〔同図(a)参照〕。また、ウェーハ裏面に絶縁膜が形成されている場合を想定し、ウェーハ上方に制御電極を設け、この電極にウェーハに印加される電圧(リターディング電圧)と同じ電圧を印加する構造とした。これにより、試料を同電位で覆うため、裏面に絶縁物がある場合でも試料にリターディング電圧を印加することができる。電気的に導通のとれないサンプルを従来装置で観察した像を同図(b)に、改良後の像を同図(c)にそれぞれ示す。このように、電気的導通のとれないサンプルでも、正常な二次電子像を形成することができるようになった。

### 2.3 応用例

シリコン上に形成された化学増幅形レジストのラインパターンとホールパターンの観察例を図4に示す。ホール径とライン幅はともに $0.18\mu\text{m}$ で、アスペクト比が約5である。検出系の改良により、コンタクトホールの底の形状が明瞭(りょう)に確認できる。

## 3. 自動測定とマシンマッチング

### 3.1 自動測定

自動測定は、ウェーハロード、ウェーハアラインメント、アドレッシング、オートフォーカス、および測長の

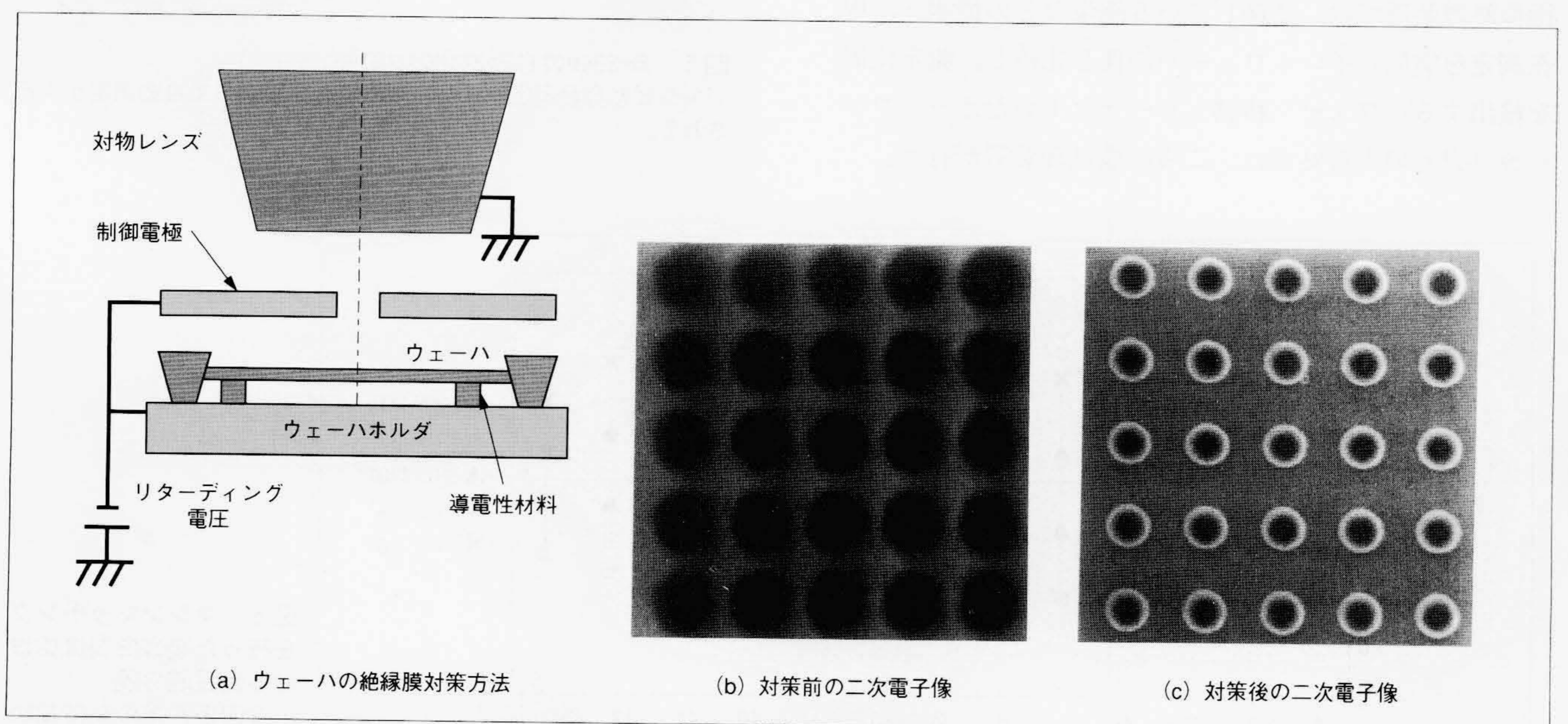


図3 ウェーハの絶縁膜の対策方法と対策前後の観察例

導電性材料と制御電極による電界制御により、絶縁膜に覆われたサンプルでも二次電子像を正常に観察することができる。

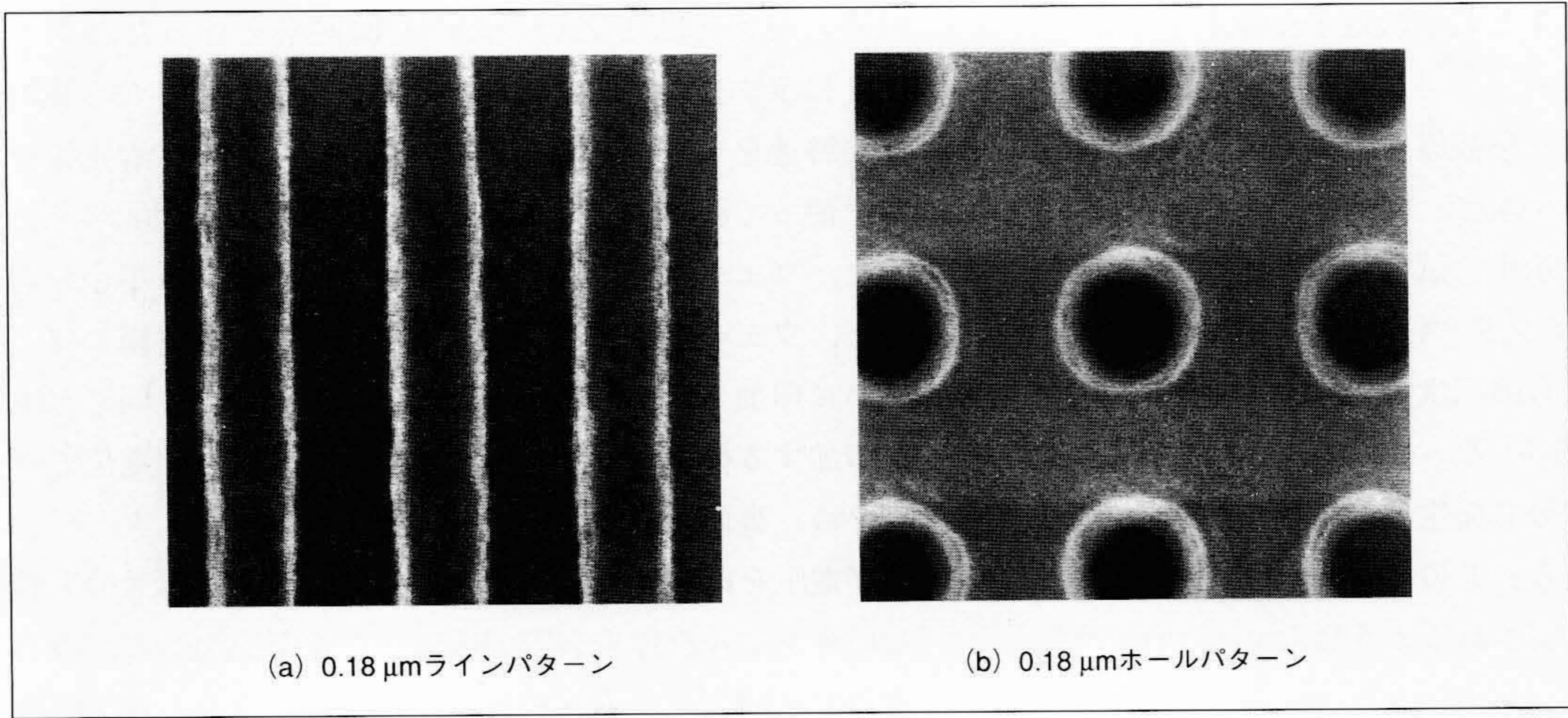


図4 0.18 μmラインパターンとホールパターンの観察例  
 検出系の改良により、ホール底部の形状が明瞭に観察できる。

五つの機能に分けられる。S-8840の典型的な自動測定フローを図5に示す。ウェーハのロード後、光学顕微鏡像を用いてウェーハアラインメントを行い、ステージ座標系とウェーハ座標系との位置関係を校正する。ウェーハアラインメントの終了後、観察像を二次電子像に切り替え、ステージ駆動によって測長位置を決定する。アドレスング終了後、フォーカスを合わせて測長する。測長点が複数ある場合には、これらの処理を繰り返す。全測定が終了した後、ウェーハをアンロードし、測長データをデータ処理部で処理し、保存する。

装置にはあらかじめ、アラインメント点、アドレスング点、測長点の位置、画像、および測長条件が自動測長のレシピファイルとして登録してある。装置に搭載の画像処理装置では、登録している画像などの情報と、現在測定を実施しているウェーハの像を比較し、測定位置を検出する。ウェーハ移動とレーザーを用いたオートフォーカス以外の主な処理は、この画像処理装置が行う。

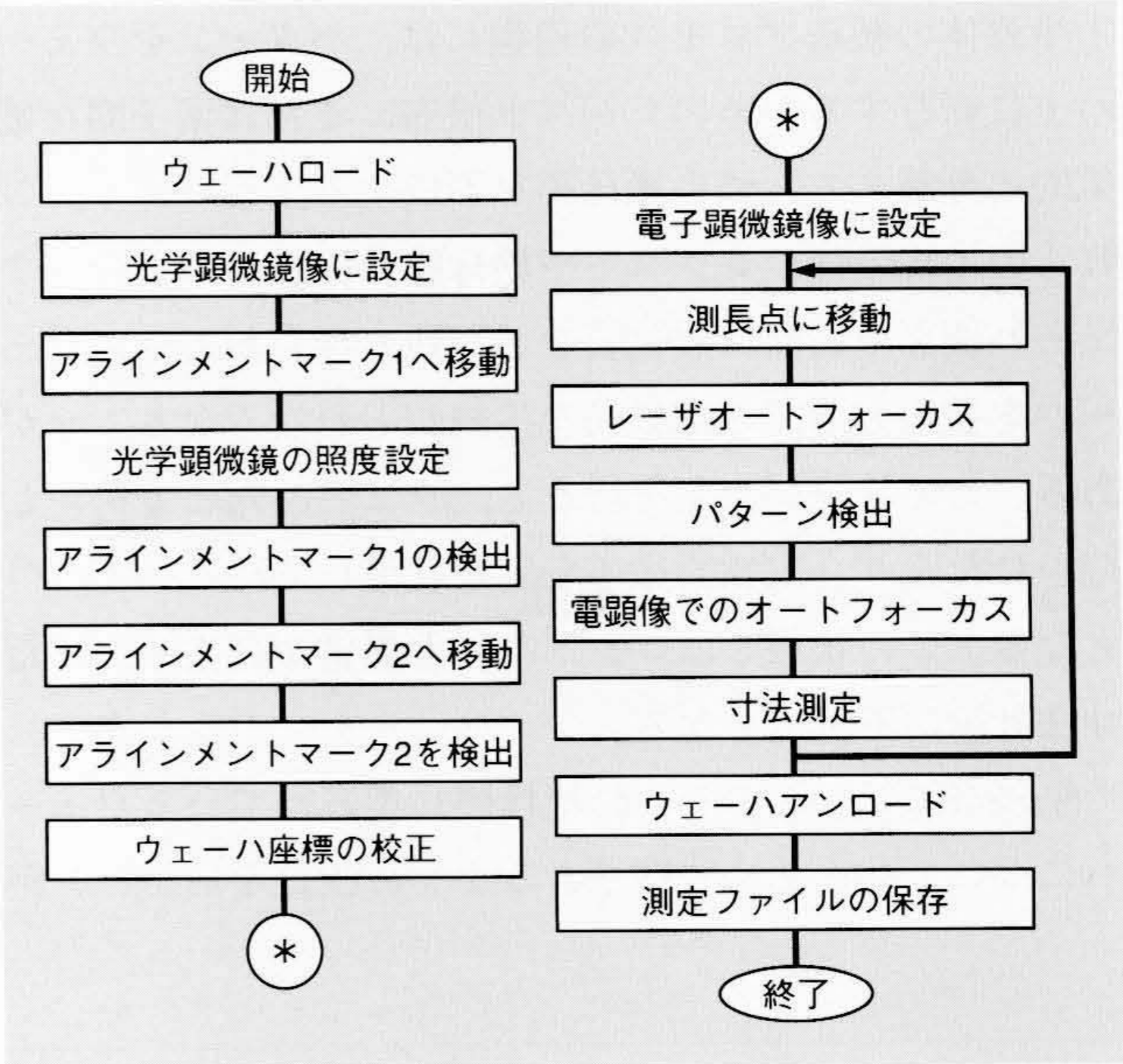


図5 S-8840の自動測定フロー  
 レシピと自動測定シーケンスの組合せによって自動測定が実行される。

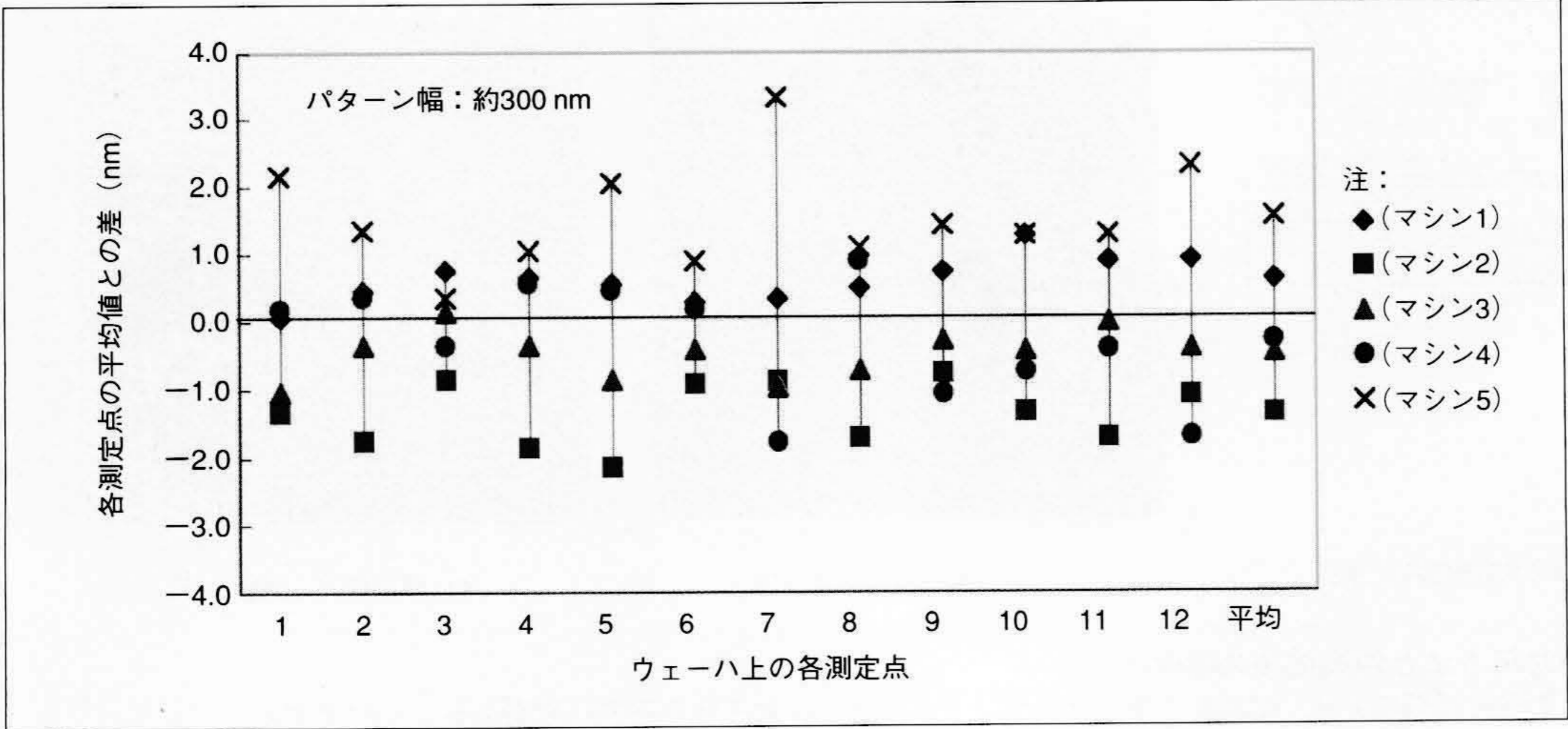


図6 マシンマッチングを行った後の各装置における測長値の差  
 各測定点での装置間の差が、平均値で約3 nmに収まっている。

### 3.2 マシンマッチング

複数台の装置が製造ラインで使用される時、装置間のマッチング(マシンマッチング)がプロセスの管理上重要である。マシンマッチングには、同一サンプルを測長したときの測長値の一致性(測長値マッチング)と、自動測定のリシファイルの互換性(レシピマッチング)がある。5台の装置で同一ウェーハの12点を自動で測定した結果を図6に示す。各装置は標準試料を用いてピッチ寸法の校正をした。各測定点での測長値の差は平均3nmとなり、どの装置で測長しても十分信頼性のある結果を得ることができる。

## 4. 高スループット化

S-8840では、半導体製造ラインの量産化に対応するため、スループットの向上を図った。高スループット化のための施策と、それによって短縮された時間の実測値を表1に示す。この結果、従来機と比較して、ウェーハ1枚当たりの自動測定時間を34秒短縮することができた。この結果1ウェーハ当たり120秒(30枚/h)の高スループットを実現した。

## 5. システム化への展開

半導体プロセスの量産化で、膨大な投資を回収し、市場での価格優位性を保つためには、早期の歩留り向上が重要である。歩留りの向上には、(1)装置導入時の立ち上げ時間の短縮、(2)量産時に起こる突発不良の低減が必要となる。従来は、量産現場の試行錯誤による手作業での解析が主であった。しかし、高集積化が進んだ現在では、プロセスが複雑となり、不良項目も複雑になっている。このため、不良をプロセス全体の問題として、系統的に解析する必要がある。

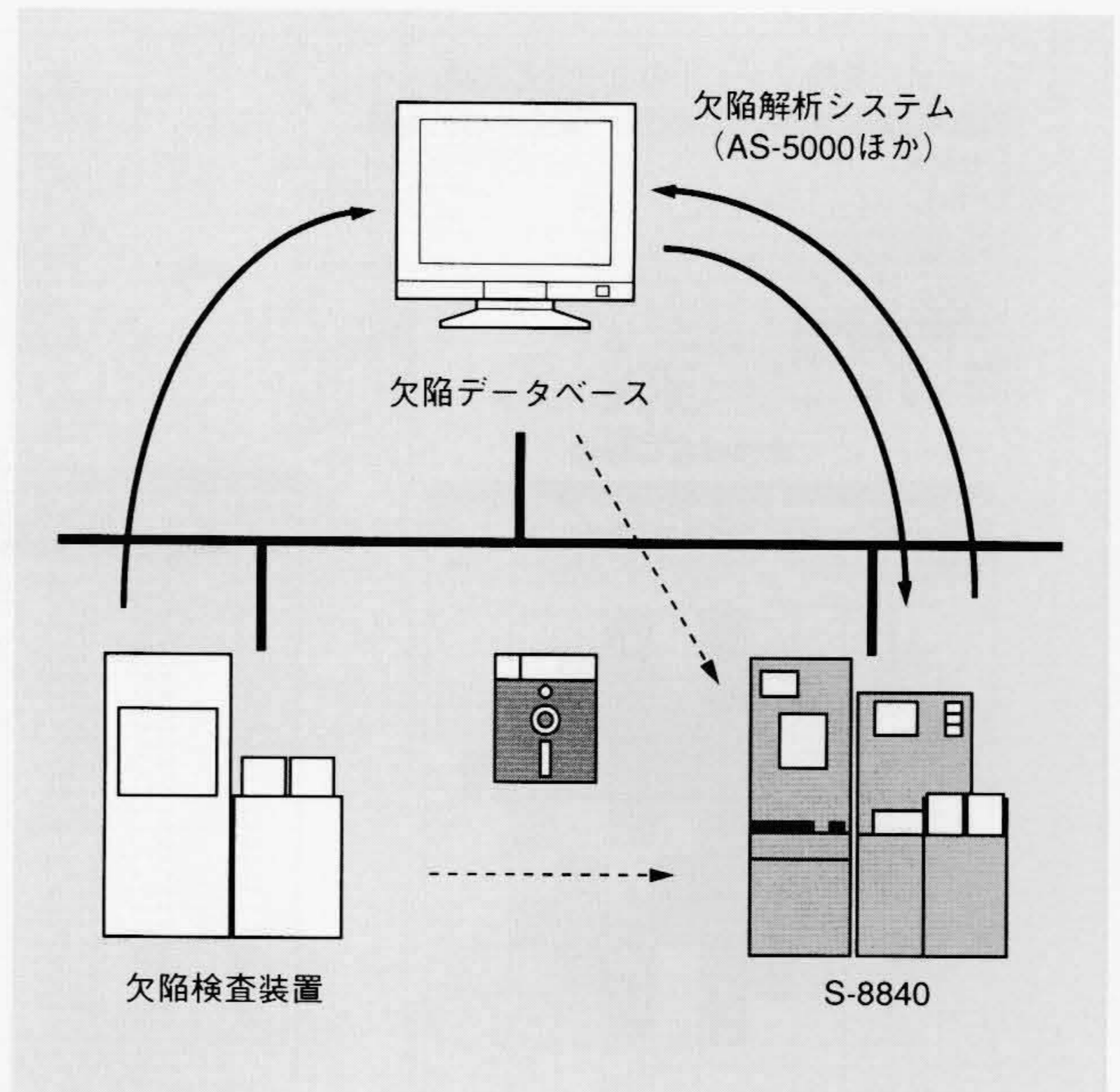
日立製作所は、異物や外観検査データをオンラインで収集、解析するシステム“AS-5000<sup>3)</sup>”を開発している。このシステムでは、(1)異物定形解析、(2)外観定形解析の

表1 高スループット化の施策と実測結果

スループット向上のために実施した対策とその実測結果を示す。

高スループット化の施策	短縮時間(s)
ステージ制御の最適化による移動時間の最短化	15
オートフォーカスの高速化	5
測定処理の並列処理化	8
ウェーハ搬送機構部の高速化	6
合計	34

条件：8インチウェーハの5点測定時のスループット



注：——(ネットワーク),----- (フロッピーディスク)

図7 S-8840と欠陥検査システムとの結合

欠陥検査システムや他の装置とは、ネットワークなどを介して接続することができる。

ほかに、(3)歩留り定形解析、(4)相関解析が行える。

S-8840は、この解析システムに接続することができる。解析システムの系統図を図7に示す。AS-5000または他の解析システムに、異物検査装置とともに接続できる。異物検査装置で得られたデータは、解析システムを経由して、または異物検査装置から直接ネットワークかフロッピーディスクを介して転送される。S-8840では、送られてきたデータを基に異物の電子顕微鏡像を取得し、座標データとともに解析システムにデータを送る。

S-8840内部での異物データの処理方法を図8に示す。転送されてきたデータを解析システムごとにファイル変換し、S-8840のステージ座標系に合わせる。その後、異物の観察、異物の種類分けなどを行った後、画像データとともに解析システムにデータを送る。

以上の作業が可能になったため、S-8840により、寸法管理だけでなく、プロセス全体の歩留りが向上し、システムの拡張を図ることができる。

## 6. おわりに

ここでは、クォータミクロンプロセスに対応する電子線測長装置「S-8840シリーズ」について述べた。

このシリーズにより、高アスペクト比のサンプルの観察を視野に入れた電子光学系の改良、ステージ駆動系

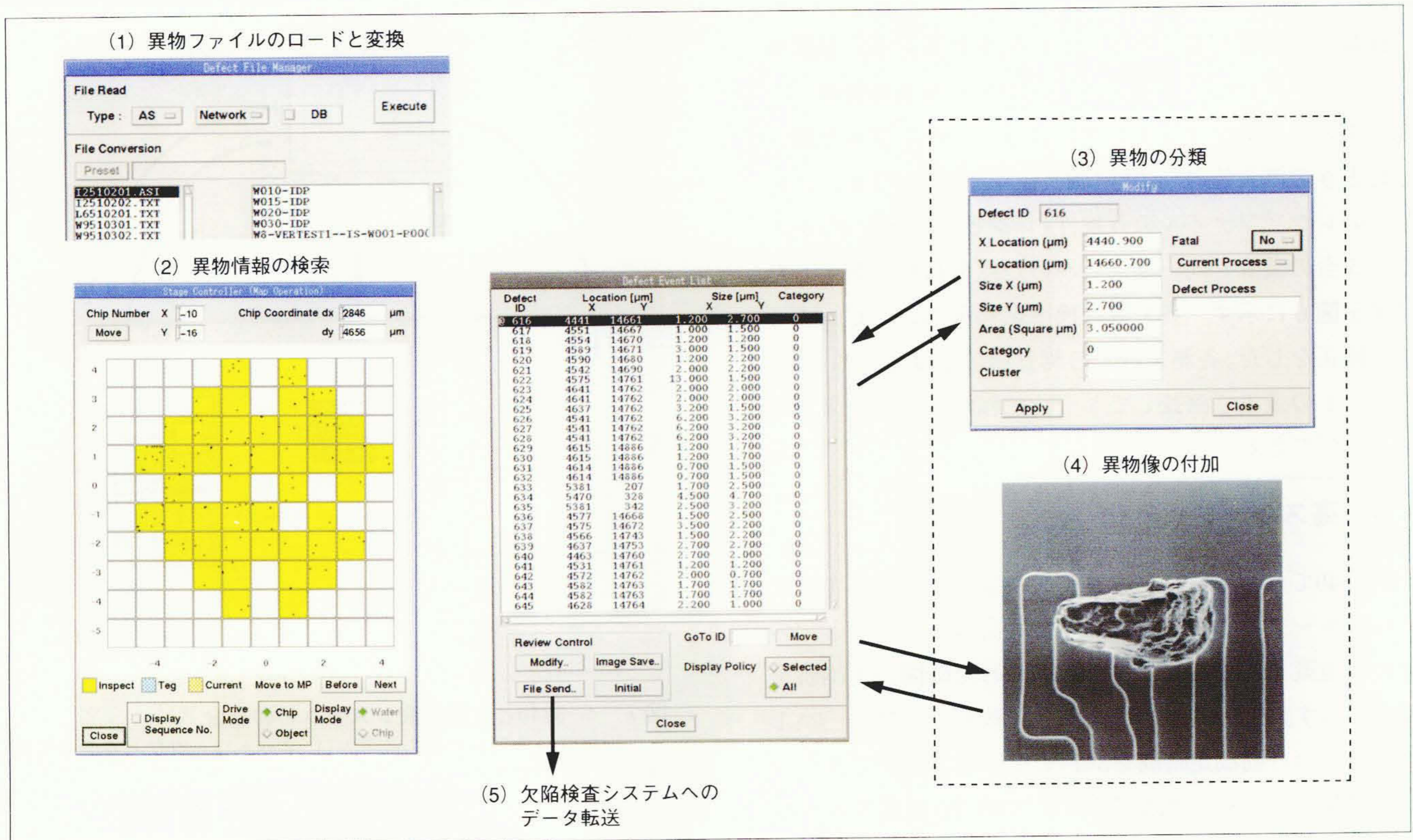


図8 S-8840の異物検査のフロー

異物・欠陥検査装置から異物の位置や大きさなどの情報を受け取り、異物の電子顕微鏡像などの情報を付加して、プロセス管理システムにデータを転送する。

の見直しや、自動測定機能の強化によるスループットの50%向上といったコストパフォーマンスが実現できた。また、プロセスの不良解析でも性能を発揮することができ、64 MビットDRAMの量産ラインにとどまらず、256 MビットDRAMの研究開発にも適用することが可能である。

今後は、観察像の高分解能化と測長再現性の向上、コストパフォーマンスの向上を目指して、スループットの向上、各プロセスパターンでの全自動測定の拡大などを推進し、いっそうの微細化に対応していきたいと考える。

#### 参考文献

- 1) 大高, 外: 電子ビームを用いた半導体プロセス評価装置, 日立評論, 77, 11, 795~800(平7-11)
- 2) M. Ezumi, et al.: Development of Critical Dimension Measurement Scanning Electron Microscope for ULSI(S-8000 Series), SPIE Proc., Vol. 2725, p.105 (1996-5)
- 3) 浜田: 歩留り管理ツールベンダからの提案 日立製作所のAS-5000, Semiconductor World, 102~105(1996-8)

#### 執筆者紹介



##### 大高 正

1962年日立製作所入社, 計測器事業部 科学システム本部 第一設計部 所属  
現在, 電子線測長装置の開発, 設計に従事  
E-mail: otaka@cm.naka.hitachi.co.jp



##### 江角 真

1989年日立製作所入社, 計測器事業部 科学システム本部 ビームテクノロジーセンター 所属  
現在, 電子線測長装置の開発, 設計に従事  
応用物理学会会員  
E-mail: ezumi@cm.naka.hitachi.co.jp



##### 笹田勝弘

1984年日立製作所入社, 計測器事業部 科学システム本部 第一設計部 所属  
現在, 電子線測長装置の開発, 設計に従事  
E-mail: sasada@cm.naka.hitachi.co.jp



##### 前田達哉

1990年日立製作所入社, 計測器事業部 科学システム本部 第一設計部 所属  
現在, 電子線測長装置の開発, 設計に従事  
E-mail: maeda-t@cm.naka.hitachi.co.jp