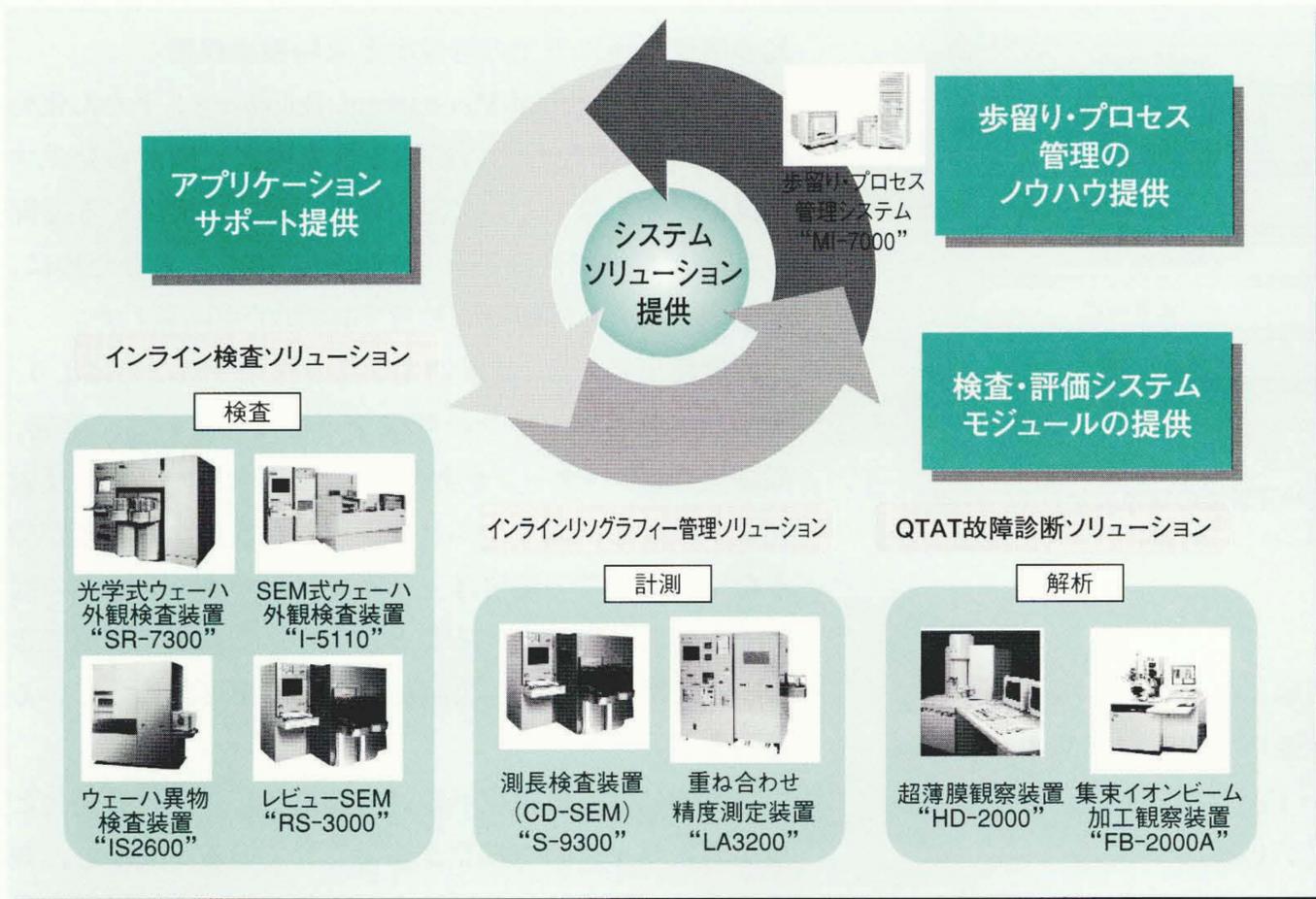


130 nm時代を切り開く次世代半導体検査・評価システム

Semiconductor Inspection Systems for the 130 nm Generation

宇佐見康継 Yasutsugu Usami 川田 勲 Isao Kawata
磯貝静志 Seiji Isogai



注：略語説明

SEM (Scanning Electron Microscope；走査電子顕微鏡)

CD-SEM (Critical Dimension SEM)

QTAT (Quick Turnaround Time)

日立グループの半導体検査・評価システム

半導体製造ラインでの歩留り・プロセス管理を支援するために、日立グループはさまざまなソリューションを提供する。

半導体の微細化は、ITRS (International Technology Roadmap for Semiconductors) に示されているように、年々加速化の傾向を示している。一方、半導体検査・評価システムについては、高性能化に伴う市場価格の高騰が問題になってきている。このような背景を踏まえ、日立グループは、次世代検査・評価システムとして、以下のソリューションを提供している。

- (1) 検査・評価システムモジュールとして、CD-SEM (Critical Dimension SEM) を用いたリソグラフィ工程管理を中心とする「インラインリソグラフィ管理ソリューション」
- (2) インラインでのウェーハ製造工程を検査管理し、検出された欠陥の分類を行う「インライン検査ソリューション」
- (3) 検査とレビュー結果を基に不良原因を分析する「QTAT (Quick Turnaround Time) 故障ソリューション」

さらに、各装置をシステム提供するとともに、各装置のデータを統合管理し、トータルシステムとして最適運用を図るためのサポートやノウハウを提案している。

1 はじめに

半導体デバイスの微細化技術は、すでに、180 nmから130 nmの技術ノードに向けて開発が加速している。微細加工への飽くなき進歩と並行して、生産性の改善は、最重要課題として近年特に注目されている。すでに、ウェーハの大口径化(300 mm径)を中心にした生産性改善ラインの建設・稼動が進行中である。半導体デバイスの微細化やプロセスの複雑化とは別に、歩留りをいかに早く、高く立ち上げるかという課題に加え、高性能化した半導体検査・評価装置を有機的に統合、運用するトータルシステムが求められている。さらに、半導体検査・評価装

置を最適に運用していくために、アプリケーションサポートや運用ノウハウが今後いっそう重要になる。

ここでは、130 nm時代を切り開く次世代半導体検査・評価システムについて述べる。

2 日立グループの半導体検査・評価システムの概要

日立グループは、高微細プロセスで要求される検査技術に対応し、装置性能の向上はもとより、投資コスト、納入後のサポート体制も含め、顧客の最適運用と顧客ソリューションの提供に努めている(上図参照)。

プロセスの微細化とともに要求される欠陥検出サイズの微細化では、検出波長および画素を小さくするだけで

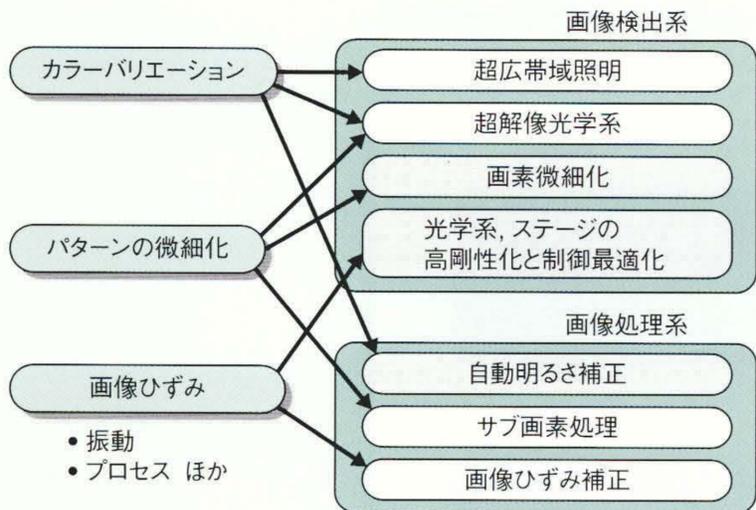


図1 検査感度向上へのアプローチ

次世代デバイスとしての光学式検査装置の課題に対して、今回、新たに画像検出系と画像処理系について技術開発を行い、感度の向上を図った。

なく、同時に各プロセスで問題となるノイズ(色むらや疑似欠陥)の除去も検討し、今後増大すると予想される欠陥データを、歩留りにフィードバックできる、意味あるデータになるようにする必要がある。

このようなニーズにこたえて、超解像光学系を搭載したウェーハ外観検査装置“SR-7300”を開発し、ノイズの除去と微小致命欠陥の検出効率を上げた。一方、プロセス開発の短縮という課題に対し、インライン検査に適応したSEM式ウェーハ外観検査装置“I-5110”を開発した。これにより、ウェーハ面内の電氣的不良個所を破壊検査することなく、高速に把握することができるようになった。また、膨大なデータを分類、解析する人手作業時間を短縮するために、全自動レビューSEM“RS-3000”や高速歩留り・プロセス管理システム“MI-7000”を採用し、トータル運用効率を向上させた。

これらの製品の詳細について以下に述べる。

2.1 光学式ウェーハ外観検査装置“SR-7300”

新しいデバイスの開発に伴い、光学式ウェーハ外観検査

SEM 像	従来光学系での解像	超解像光学系での解像

図2 超解像光学系による画像改善

新たに採用した超解像光学系により、従来画像と比べて解像度を格段に向上させた。超解像光学系により、パターンの疎密に依存することなく、SEM画像に近い高解像の画像が取得できる。

査装置として、以下のような新たな対応技術が求められている(図1参照)。

(1) パターンの微細化の加速度的な進展に伴う、通常の光の解像限界以下での解像度と欠陥検出技術

(2) CMP (Chemical-Mechanical Polishing: 平坦化処理) などによる色むらの影響や検査阻害要因から発生する擬似欠陥を除去し、欠陥だけを選択的に検出する技術

日立グループは、これらのニーズにこたえるために、光学式ウェーハ外観検査装置“SR-7300”を開発した。

画像検出系では、超解像光学系を採用することにより、微細化されるパターンの解像を可能にしている。通常、微細化され、パターンが密になると、ウェーハからの反射光量が減少し、暗くつぶれた画像しか検出することができなくなる。この超解像光学系では、パターンからの回折光を強調して検出することにより、これまで解像できなかった微細パターンも解像することを可能にしている(図2参照)。

一般的には、微細化への対応技術として、短波長化と検出画素サイズの微細化が検討されている。しかし、短波長化については、絶縁膜などの色むらによる影響を考慮する必要があり、現状では感度を低下させている阻害要因除去のほうが支配的である。このため、“SR-7300”では、独自技術である広帯域照明を採用している。

一方、画像検出サイズ(画素サイズ)の微細化は重要な課題であるが、単純に画素サイズを小さくするだけでは、高分解能と高感度検出を実現することはできない。画像の揺らぎなどを含む取得画像のノイズ成分を除去するためには、高剛性の光学系、ステージ、さらに、それらを高精度に制御することが必須となる。“SR-7300”では、高分解能と高感度検出を実現するために、このような取

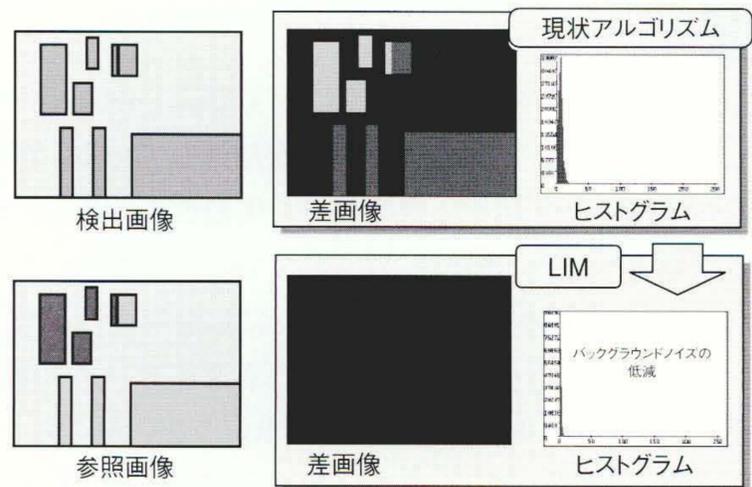


図3 LIMによるバックグラウンドノイズの低減

新たに採用したLIMにより、差画像から色むらノイズを消した。

得画像に含まれているノイズ成分を除去できる高精度、高剛性の光学系とステージを採用している。

これら画像検出系の改善により、画像の解像度は格段に向上する。しかし、実際の検査では、これだけでは欠陥の検出能力は向上しない。このため、外観検査装置では、二つの画像(セル比較では隣接セル、ダイ比較では隣接ダイのそれぞれの画像)を比較し、その差分を欠陥として検出している。この二つの画像に色むらやグレイン(微粒子)などが発生していると、その差分も欠陥として検出してしまう。これら擬似欠陥を検出しないようにするためには、検査感度を落とさざるをえなくなっている。“SR-7300”では、LIM(Local Intensity Matching: 局所濃淡補正)と呼ばれる新たな画像処理技術を取り入れることにより、この検査阻害要因を取り除き、高感度検査を実現している。LIMでは、画素単位ごとに補正をかけることによって二つの画像の色むらなどによる差分を無くし、バックグラウンドノイズを低減している(図3参照)。

この技術により、擬似欠陥を検出しないで、実欠陥だけを選択的に高感度で検出することが可能となった。また、従来のセル比較に比べて約 $\frac{1}{2}$ であったダイ比較の検出感度をセル比較並みに向上させることができた。この技術は、システムLSIやロジック製品などダイ比較が中心となる製品の検査に大きな改革をもたらすものとする。

2.2 SEM式ウェーハ外観検査装置“I-5110”

デバイスの微細化に伴い、前述のような高感度の光学式ウェーハ外観検査装置でも検出できない、微細な致命欠陥も増加している。

日立グループは、これまで、SEM(走査電子顕微鏡)式ウェーハ外観検査装置“I-3010”をリリースし、検査技術の中の大きな一翼を担ってきた。今回、システムLSIやロジック製品対応として、セル比較だけでなく、ダイ比

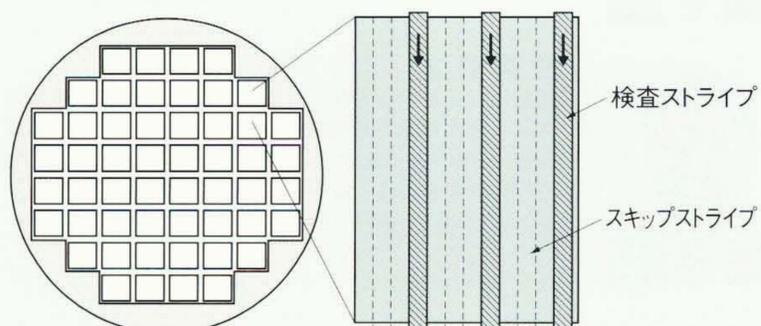


図4 DDIモードの概要

高速かつ高感度でウェーハ上の欠陥分布を検査するためには、検査ストライプを選択的にスキップしながら検査するDDIモードが有効である。

較と混合比較(1回の検査の中でセル部はセル比較、それ以外はダイ比較を同時に行う検査機能)が可能なSEM式ウェーハ外観検査装置“I-5110”を開発した。

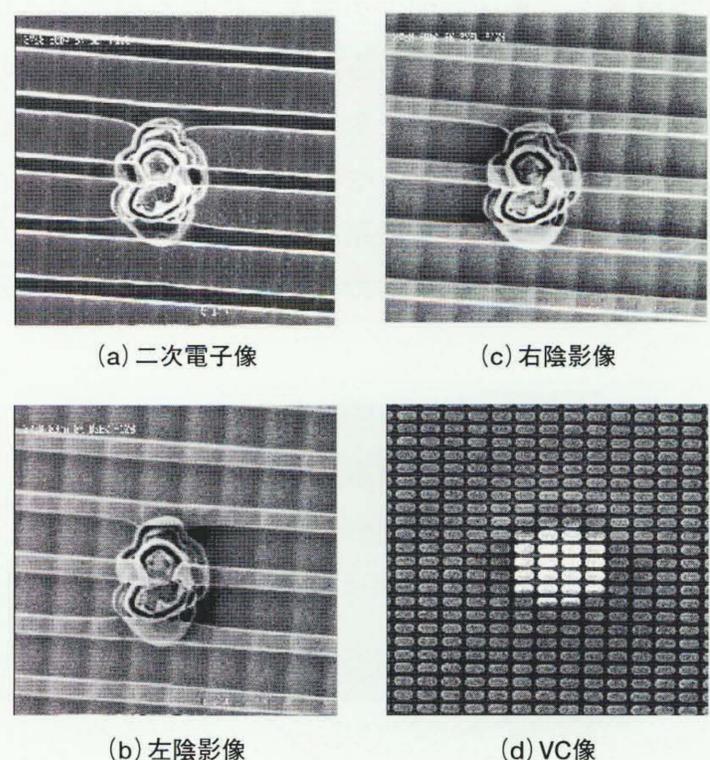
“I-5110”では、ダイ比較と混合比較機能を追加しただけでなく、従来装置の技術を基に、各所の性能向上を図っている。その一つがDDI(Defect Distribution Inspection)モードである(図4参照)。

SEM式検査装置は、その構造上、光学式検査装置に比べてスループットが遅く、ウェーハ全面の検査には適していない。しかし、プロセス微細化に伴ってウェーハの特定部分に発生する微細な致命欠陥も増加しており、SEM式検査装置でのウェーハ全面検査の必要性も増大している。従来、検査画素サイズを大きくし、検査感度を落として高速で検査する方法があったが、これではSEM式検査装置の特徴を殺してしまうことになる。“I-5110”では、サンプリング率を設定し、スキップ検査を行うことにより、ウェーハ全面を高速かつ高感度に検査することができる。

2.3 全自動レビューSEM “RS-3000”

デバイスの微細化に伴って欠陥サイズが微小となり、さらに、欠陥数が膨大となるにつれて、光学式レビューに代わる、効率のよいSEMレビュー装置の必要性が増してきた。

日立グループは、効率のよいSEMレビューへの強いニーズにこたえるために、新全自動レビューSEM“RS-3000”



注：略語説明 VC(Voltage Contrast; 電位コントラスト)

図5 “RS-3000”によるレビューイメージ

通常の二次電子像のほかに、左右の陰影像とVC像を同時に表示することにより、欠陥像を高速に確認することができる。

を開発した。

“RS-3000”は、大量の欠陥を高速に全自動でレビュー(ADR: Automatic Defect Review)し、さらに自動分類(ADC: Automatic Defect Classification)によって欠陥を致命性の高いものとそうでないものとのリアルタイムで分けることができる、ライン歩留り向上の強力なツールであるとともに、600DPH(Defects per Hour)のスループットを達成した高速レビュー装置である。

“RS-3000”では、一つの欠陥ごとに、(1)二次電子像、(2)左陰影像、(3)右陰影像、および(4)VC像の4種類のSEM画像を得ることができる(図5参照)。二次電子像だけでは凹凸の判断がつきにくい欠陥も、左右の陰影像によって判断が可能となる。また、VC像が得られることから、SEM式ウェーハ外観検査装置で検出されたVC欠陥のレビューを可能としている。さらに、分類正解率が高く使い勝手のよい独自のADCとして、“ECC(Evolutional Combined Classification)”を搭載している。ECCは、システム分類機能とユーザー分類機能とを統合した、柔軟な分類カテゴリーを容易に設定できる方式である。ユーザー分類では、ユーザーの指示に従ってカテゴリーを分ける。システム分類機能では、欠陥画像の特徴を抽出し、システム自体で欠陥が致命的か否かを判断する。このため、ユーザーによる教示を必要としない、インライン用途に適した機能である。

2.4 歩留り・プロセス管理システム“MI-7000”

“MI-7000”は、各種検査装置とレビュー装置からのデータを解析し、歩留り向上の対策と管理を効率よく行うことができるシステムである。特に、最近の欠陥数の増大傾向に対応するために、欠陥のフィルタリング機能を新たに追加し、さらに使いやすいものとしている。

フィルタリング機能を使用すると、欠陥サイズとカテゴリーや領域などで選択した欠陥だけを抽出することが

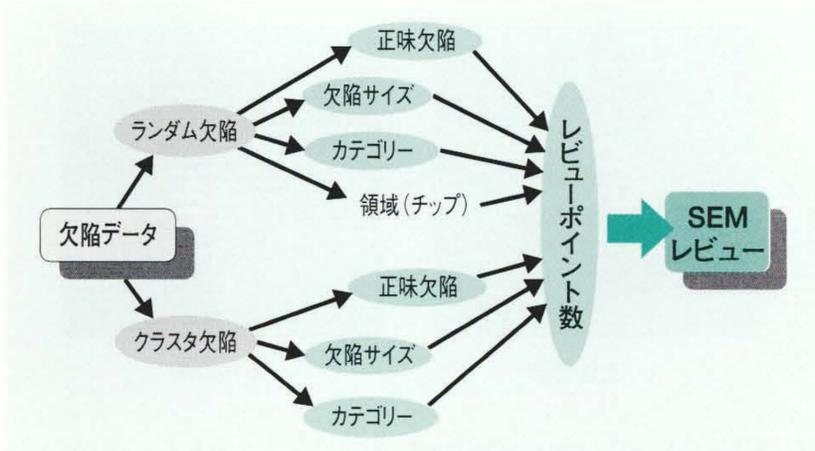


図6 フィルタリングによる欠陥の絞り込みの仕組み

高感度検査による結果データの増大に対応するためには、今後、レビューポイントを選択的にフィルタリングする機能が重要になる。

できるため、膨大な欠陥数の中から絞り込みを行い、レビュー装置のスループットに合わせたレビューポイントを設定することができる(図6参照)。

また、“MI-7000”をユーザーシステムと接続することによって寸法や膜厚、テストデータなどの時系列推移を表示し、アラームを発信することができる機能も搭載した。さらに、機差解析をサポートする機能やデータを自動的にメール発信する機能も装備し、先端ラインの歩留り管理を総合的に支援するシステムとしている。この機能は、今後展開される300 mm径ウェーハプロセスの早期立ち上げに大きく貢献するものと考えている。

3 おわりに

ここでは、130 nm時代を切り開く半導体検査・評価装置について述べた。

今後も新たな技術・装置の開発によってユーザーのニーズにタイムリーに対応するシステムを提供するとともに、半導体検査・評価装置を最適に運用していくためのアプリケーションサポートや運用ノウハウを中心としたシステムソリューションを提案していく考えである。

参考文献

- 1) 浜田, 外: 高歩留り生産を支える半導体検査システム, 日立評論, 79, 10, 803~808 (平9-10)
- 2) 芝, 外: 半導体ウェーハ外観不良検査の効果的運用, 日立評論, 79, 10, 809~814 (平9-10)
- 3) 宇佐見: 半導体製造ラインにおける歩留り解析システム, クリーンテクノロジー (1999.9)
- 4) 宇佐見, 外: 半導体歩留り向上を支援する検査システム, 日立評論, 81, 10, 661~666 (平11-10)

執筆者紹介



宇佐見康継

1984年日立製作所入社, 計測器グループ エレクトロニクスシステム本部 所属
現在, 半導体検査システムのマーケティング業務に従事
日本真空協会会員, 日本電子顕微鏡学会会員
E-mail: yasutsugu-usami@instr.hitachi.co.jp



磯貝静志

1981年日立製作所入社, 計測器グループ エレクトロニクスシステム本部 半導体検査システムプロジェクト 所属
現在, 半導体検査, 歩留り向上支援システムの開発に従事
応用物理学会会員, 電子情報通信学会会員
E-mail: seiji-isogai@instr.hitachi.co.jp



川田 勲

1979年日立東京エレクトロニクス株式会社入社,
2000年日立製作所転属, 計測器グループ
エレクトロニクスシステム本部 所属
現在, 半導体検査システムのマーケティング業務に従事
E-mail: isao-kawata@instr.hitachi.co.jp