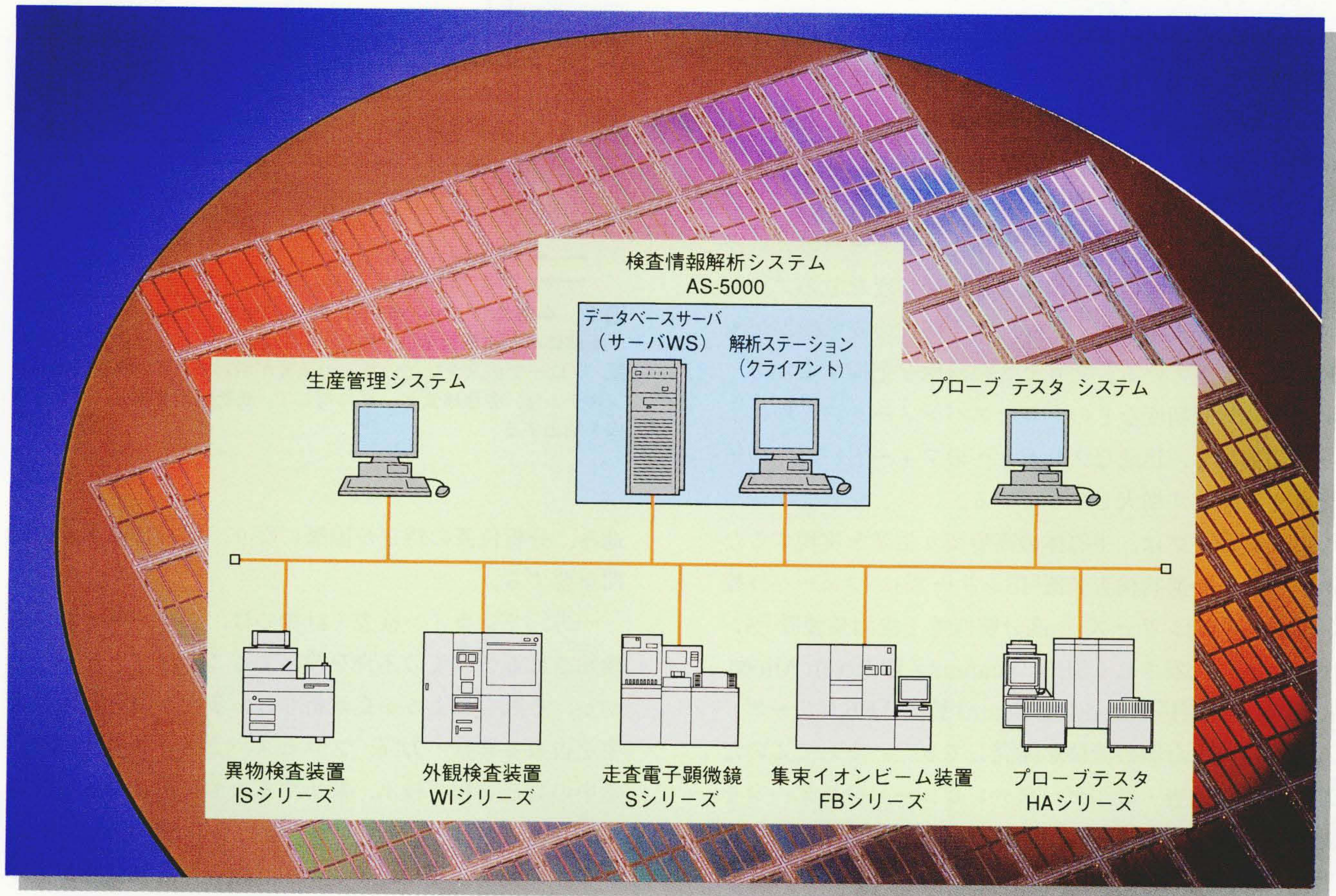


高歩留り生産を支える半導体検査システム

Inspection System for High-Yield Production of VLSI Wafers

浜田利満 Toshimitsu Hamada 水野文夫 Fumio Mizuno
中里 純 Jun Nakazato 渡辺健二 Kenji Watanabe



注：略語説明 WS (Workstation)

半導体検査システム

ウェーハ異物・外観検査装置、レビュー装置などの装置と、プローブテストシステム、生産管理システムを検査情報解析システムの下に有機的に結合し、迅速な不良原因の究明、対策を可能にしている。

半導体ウェーハの不良原因の大半であると言われる異物・外観不良の早期摘出や、プロセスパラメータの管理に基づく迅速なプロセスへのフィードバックは、歩留り向上の鍵である。

製造工程途中でのインライン異物・外観検査による不良解析では、より早い段階で製造プロセスへのフィードバックを行うことができる。日立グループは、半導体の高歩留り生産を実現するため、ウェーハ異物検査装置「ISシリーズ」、ウェーハ外観検査装置「WIシリーズ」、高分解能電子線測長装置「Sシリーズ」、FIB (Focused Ion Beam) 装置「FBシリーズ」などの検査・計測装置群を開

発してきた。

このたび、大量の検査・計測データやレビュー・分析データを処理し、有効な情報を抽出する検査情報解析システム“AS-5000”を開発した。このシステムでは、異物・外観検査データ、プローブテストによる故障解析データ、およびレビュー・分析装置による物理解析データを有機的に結合し、異物・外観検査での不良解析を効率よく行うことができる。これからも、デバイスパターンの微細化、ウェーハの大口径化に伴って、検査情報解析システムの重要性はますます増大するものと考ええる。

1. はじめに

半導体デバイスの発展は著しく、ほぼ3年ごとに新世代製品が開発される。そして、デバイスメーカーにとって、試作・立ち上げ期間の歩留り曲線をより急峻(しゅん)にする、いわゆる垂直立ち上げと、量産期間での歩留りの高水準安定化の実現は、事業の成否にかかわる。

半導体ウェーハの不良の大半は、異物・外観不良によると言われている。異物・外観不良の早期摘出と、それに基づく迅速なプロセスへのフィードバックは、歩留り向上の鍵である。

一方、デバイスパターンの微細化とウェーハの大口径化により、露光での焦点裕度や合わせ裕度などのプロセス余裕はますます小さくなり、素子特性の安定確保が困難になってきている。プロセスの状態を把握するため、寸法・合わせ精度などのプロセスパラメータの管理による問題摘出と、迅速なプロセスへのフィードバックの重要性もますます増大してきている。

日立グループは、半導体の高歩留り生産を実現するため、ウェーハ異物検査装置「ISシリーズ」、ウェーハ外観検査装置「WIシリーズ」、高分解能電子線測長装置「Sシリーズ」に代表されるSEM(Scanning Electron Microscope)、FIB(Focused Ion Beam)装置「FBシリーズ」などの検査・計測装置群を開発してきた。そしてこのたび、大量の検査・計測データやレビュー・分析データを処理し、有効な情報を抽出する検査情報解析システム“AS-5000”を開発した。

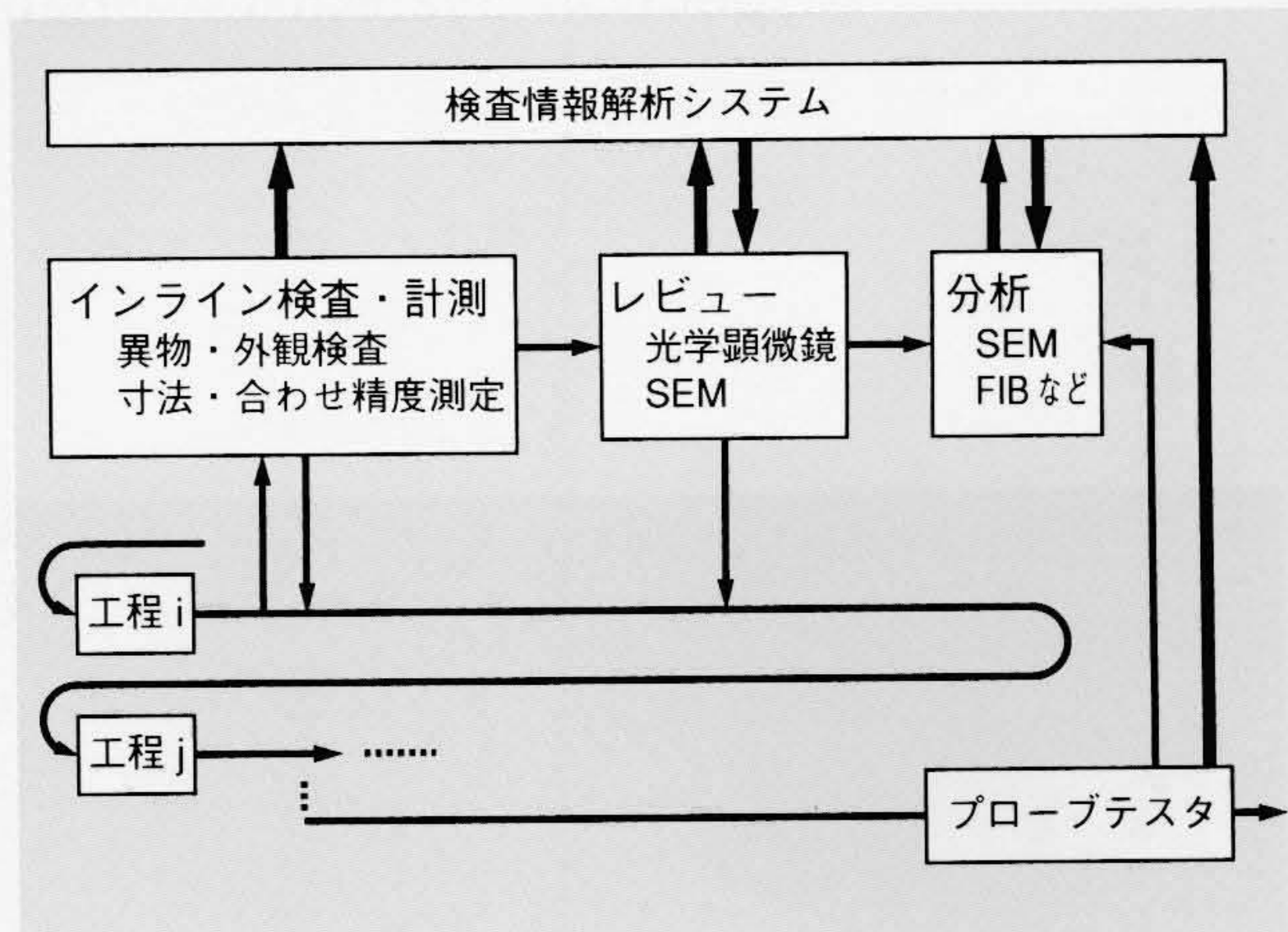
ここでは、異物・外観検査による不良解析と、その高効率化を実現する検査情報解析システム“AS-5000”の概要について述べる。

2. 半導体ウェーハ製造における検査

2.1 半導体ウェーハの不良解析

半導体ウェーハの不良解析には、(1)プローブテストによる故障解析、(2)光学顕微鏡、SEM、FIB装置などを用いる物理解析、(3)異物・外観検査などのインライン検査・計測データに基づく解析がある。

プローブテストによる故障解析では、設計情報やプロセス情報などに基づいて作成した種々のテストプログラムによって得られる結果を解析し、不良工程・装置を推定していく。しかし、最終工程であるプローブテストの結果が得られるまでには、ウェーハ投入から長い期間を要する。また、物理解析もデバイスの微細化や多層化が



注：→ (ウェーハの流れ)
 ⇄ (データの流れ)

図1 半導体ウェーハの不良解析の流れ

半導体の不良解析では、検査・計測装置、レビュー装置、分析装置、プローブテストなどの多くの装置が用いられる。検査情報解析システムは、各種検査データに対して、統計処理を施し、有効な情報を抽出する。

進み、分析位置の特定が困難になり、解析には多くの時間を要する。

一方、インライン検査・計測では、プローブテストで検知されるすべての不良を検出することはできない。しかし、それらによる不良解析では、歩留り阻害要因の大半を占める異物・欠陥、プロセスパラメータの変動を、途中の製造工程で検出、解析するために、より早い段階でプロセスへのフィードバックを行うことが可能である。

多くの製造工程にはインライン検査・計測装置が置かれている(図1参照)。例えば、成膜工程では異物検査が、露光工程では外観検査、寸法計測、合わせ精度計測が、エッチング工程では異物・外観検査、寸法計測などがそれぞれ行われる。検査・計測で得られたデータを解析し、必要に応じて光学顕微鏡、SEM、FIB装置などのレビュー・分析装置による物理解析を行い、問題工程・装置の推定、不良発生のメカニズムのモデル化を行っていく。また、検査・計測データはプローブテストによる故障解析の結果と照合し、その致命性を判定することもできる。このように、インライン検査・計測による不良解析は、必要に応じて物理解析や故障解析の結果を利用しながら、効率よく遂行される。

従来、これらの解析では多くのノウハウを必要とし、特定の人間に頼らざるをえなかった。しかし、検査装置の性能向上などに伴い、得られる検査データ量が膨大になり、有効な情報を抽出することが困難になってきてい

る。このため、各種検査データやプローブテストデータに対し、相関解析を含むさまざまな統計処理を施し、有効な情報を抽出する検査情報解析システムのニーズがますます高まってきている。

2.2 生産フェーズと検査の目的

半導体デバイスの開発では、その生産フェーズで必要となる検査の目的や内容が異なる(図2参照)。

(1) 開発試作フェーズ

半導体の新製品を開発する場合、パターンの微細化が進められ、新しいデバイス構造や材料が採用されることも多い。このため、新しい製造装置やプロセスで、さまざまな不良が発生する。開発試作フェーズでは、これらの不良を可能なかぎり検出、分析し、その結果に基づいて設計やプロセスの変更、プロセス装置の改造といった根本的な対策を施す。

異物・外観検査では、特に検出感度に重点が置かれ、デバイス不良を引き起こす致命異物・欠陥を確実に検出することが要求される。そして、検出異物・欠陥を光学顕微鏡、SEM、FIB装置などを用いてレビュー、分析したり、プローブテストの結果との照合によって原因究明・不良メカニズムの推定を行い、対策を実施する。

(2) 立ち上げフェーズ

立ち上げフェーズでは、ウェーハ生産枚数が増え、製造装置稼働率も上昇するが、製造装置の安定性などに起因する新たな不良が発生することもある。早期に歩留りを高水準に到達させるためには、きめ細かい検査を実施し、歩留り低下の要因ともなる不良の発生を早い段階で発見し、対策することが重要となる。

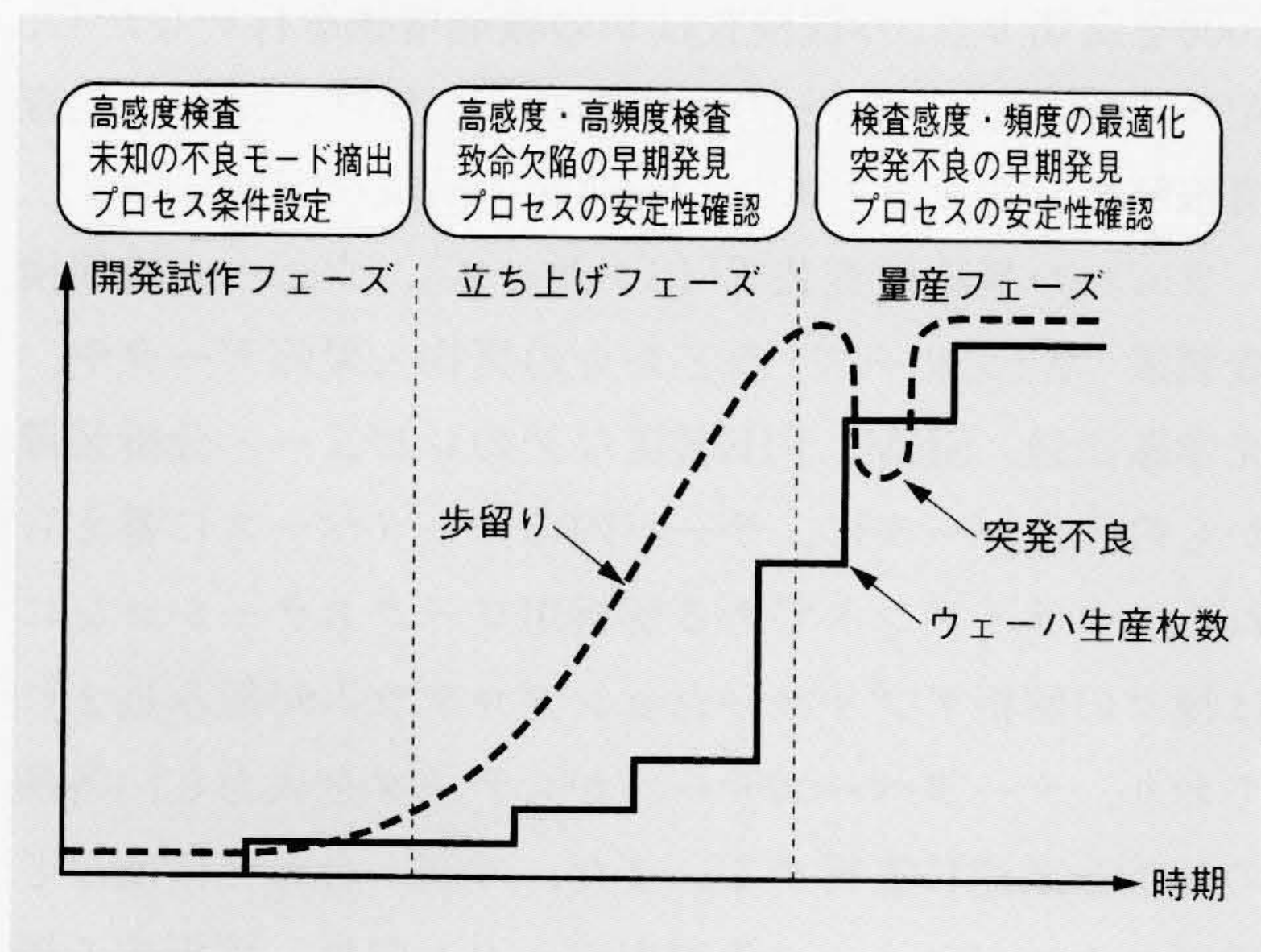


図2 生産フェーズと検査の目的

開発試作フェーズ、立ち上げフェーズ、量産フェーズの各フェーズで、検査の目的、内容は異なる。

異物・外観検査としては、ある程度の高い検出感度と、検査抜き取り頻度を高める高スループットが要求される。また、検査ウェーハ数の増加に対応し、不良原因の早期把握を可能とする効率的なレビューも要求される。

(3) 量産フェーズ

開発試作、立ち上げフェーズでは、不良の根本的な原因の対策が行われている。したがって、量産フェーズでは、突発的に発生する不良による歩留り低下を最少に抑さえるためのモニタリングが検査の主目的になる。また、ウェーハ生産枚数は大幅に増加するため、検査適用工程の決定、その工程に応じた検査装置の選定、検査の頻度の最適化が行われる。

3. 異物・外観検査による不良解析

ウェーハ異物・外観検査による不良解析の基本的なワークフローを図3に示す。検査装置は、検出した異物・欠陥の位置座標、サイズなどの検査データを検査情報解析システムへ転送する。前章で述べたように、この検査データを統計処理し、異常の早期発見と対策に有効な情報を効率よく抽出する必要がある。異常の検知を的確に行うためには、前工程欠陥削除とクラスタリング処理を検査データに施すのが効果的である(図4参照)。

図4(a)に示すように、その検査工程(C工程)で検出される欠陥数は、以前の工程(A工程とB工程)で検出された欠陥を再カウントしている。そこで、欠陥座標を基に、重複する欠陥を除く処理(前工程欠陥削除)を行い、着目工程(C工程)で新規に検出した欠陥だけを抽出する。

また、ウェーハ上に密集欠陥やきず欠陥が存在すると、検出欠陥数の値が異常に大きな値となり、プローブテストで得られる歩留りデータとの相関がなくなる。そこで、図4(b)に示すように、欠陥座標を基に、近接する欠陥を併合し、グループ化して取り扱うクラスタリング処理が必要となる。

前工程欠陥削除とクラスタリング処理は、共に欠陥座標に基づく欠陥分類の一種であり、次に述べるレビュー・分析でも重要な前処理として用いられる。

開発試作、立ち上げフェーズでは、単に検査データを解析するだけでは十分でなく、より詳細な分析が必要になることが多い。レビュー装置は、検査データに基づいて欠陥の光学像やSEM像を収集し、これを分類する機能を持つ。検査情報解析システムでは、収集した画像をデータベースに保存するとともに、欠陥分類結果や欠陥の成分分析結果などを収集し、不良発生のメカニズム解明など

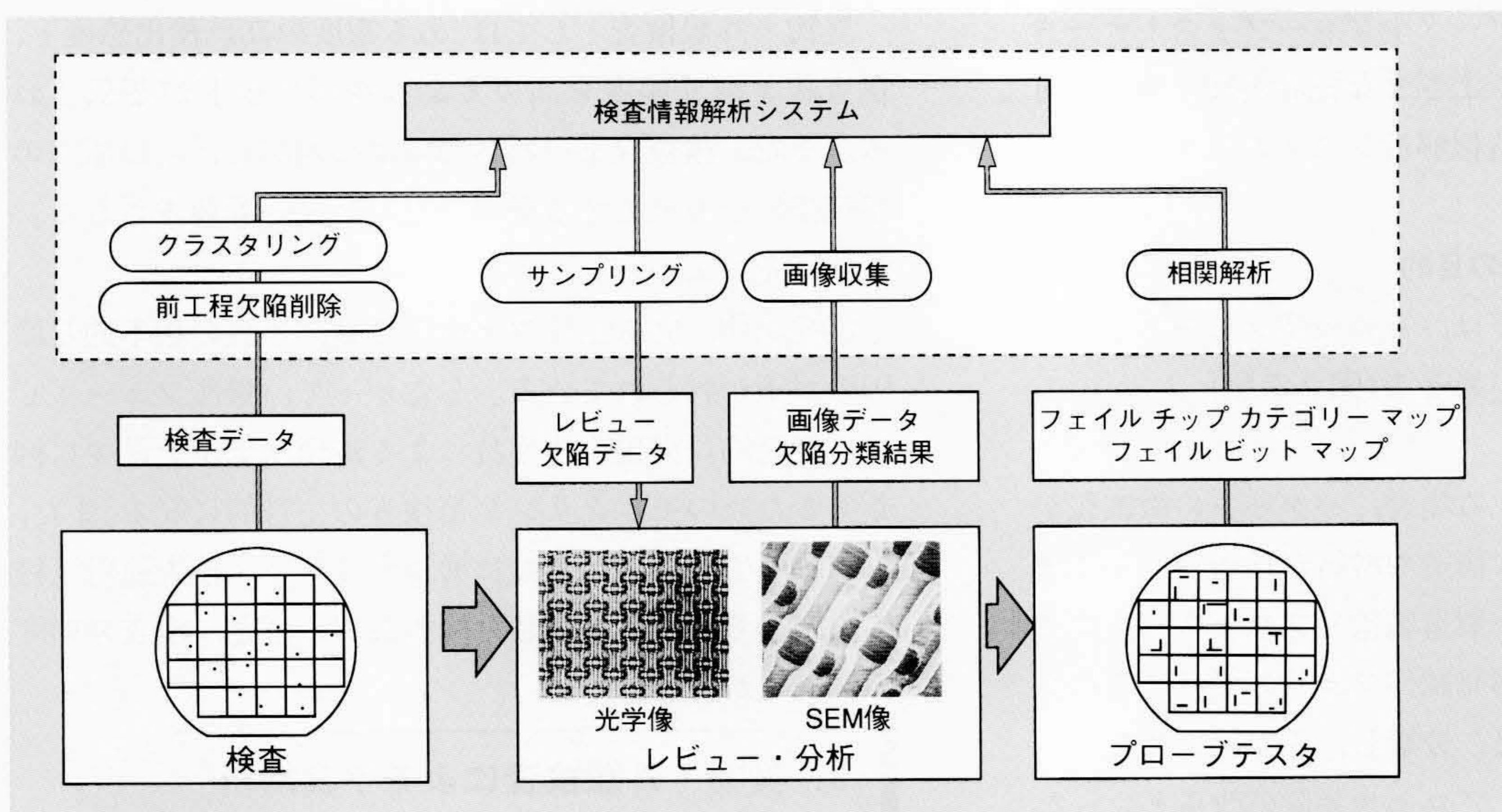


図3 異物・外観検査のワークフロー

検査情報解析システムでは、検査装置、レビュー・分析装置、プローブテストからのデータを統合的に解析する。

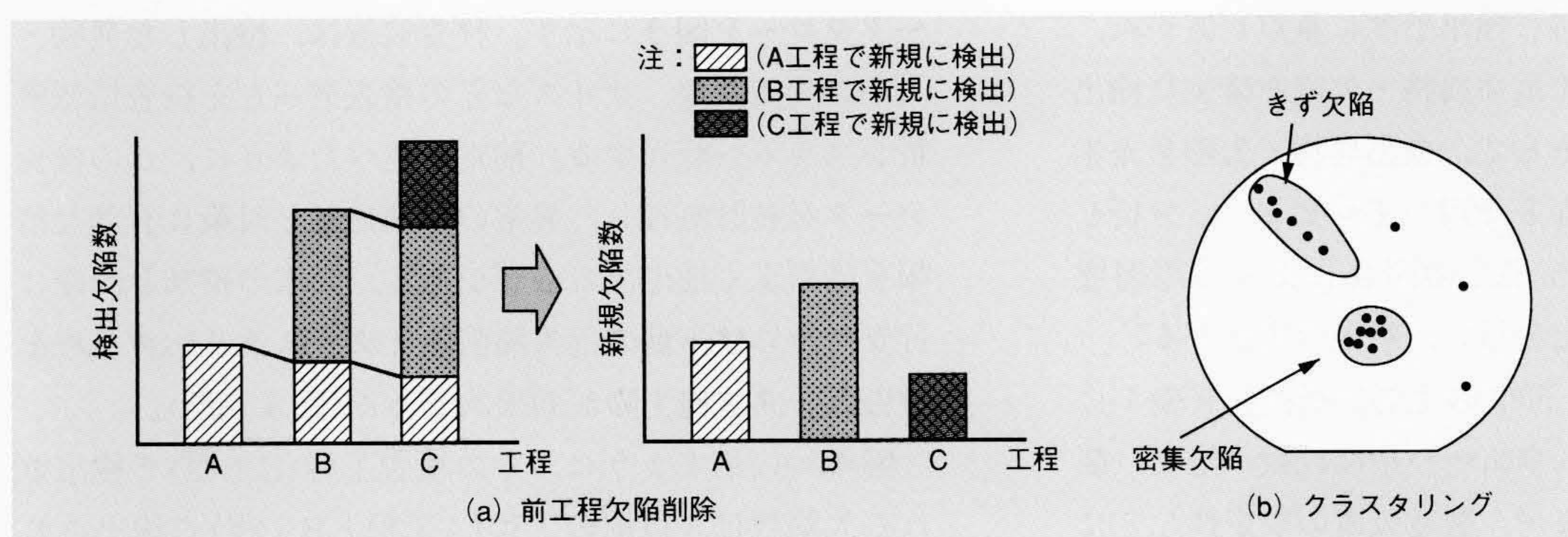


図4 前工程欠陥削除とクラスタリング

クラスタリングと前工程欠陥削除は、欠陥座標に基づく欠陥分類である。

に役立てている。

プローブテストで得られるフェイルビットマップ、またはフェイルチップカテゴリマップも不良解析の強力なデータである。プローブテストの結果と異物・外観検査結果との関連解析により、異物・欠陥の致命性の判定ができる。致命欠陥発生工程に基づいてデータベースに保存された過去の事例を参照、比較することにより、不良発生の原因・メカニズムの推定も容易に行うことができる。

また、検査装置の高速・高感度化によって大量の欠陥が検出されるようになったため、レビューする欠陥を限定しても正確な診断ができるレビューサンプリング機能も、検査情報解析システムの大きな役割である。

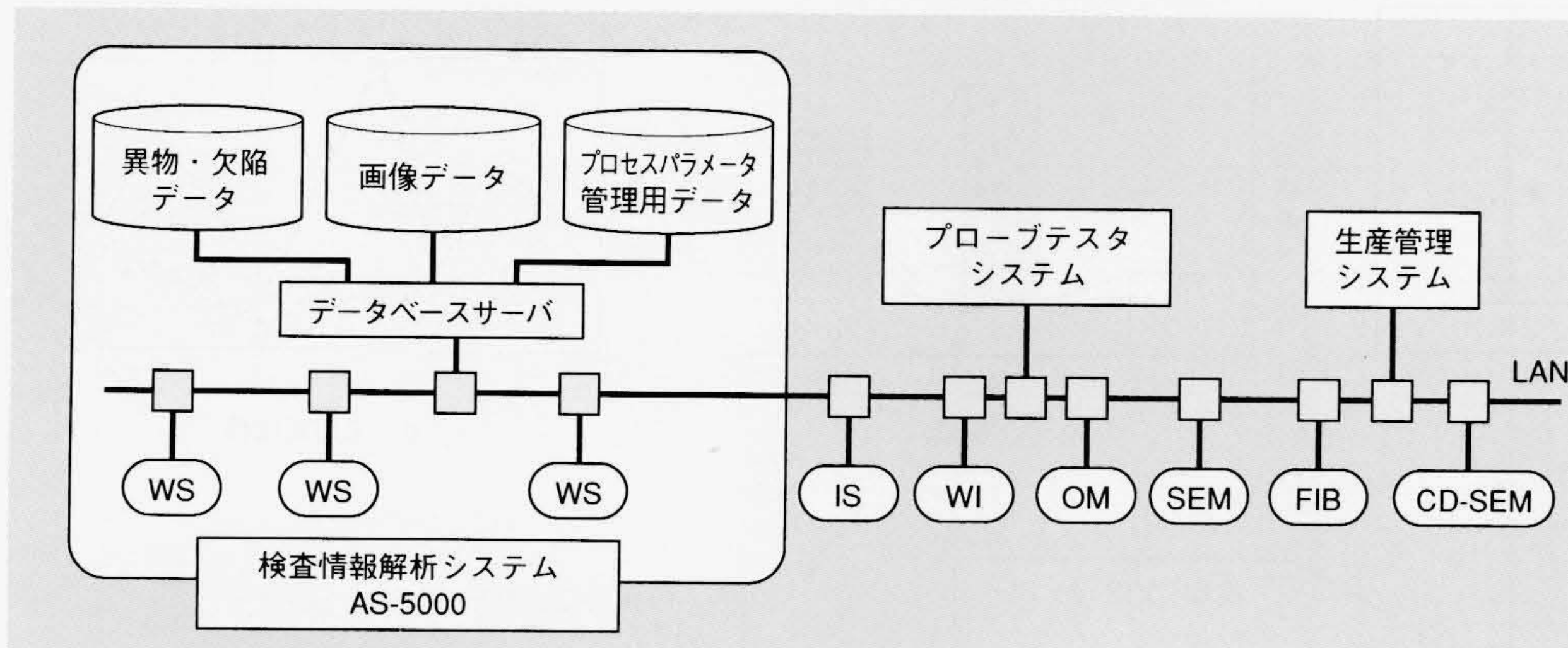
異物・外観検査による不良解析では、検査データの解析ばかりでなく、このような解析の前処理やレビューサンプリングなどの処理が重要となる。開発した検査情報解析システム“AS-5000”では、これらの処理を効率よく実現することを目指している。

4. 検査情報解析システム“AS-5000”

4.1 構成

日立グループは、異物検査に関する解析システムAS-1000を皮切りに、外観検査ほかの機能増強を行いながら、AS-2000、AS-5000と開発を進めてきた^{1),2)}。最新の検査情報解析システムであるAS-5000の構成を図5に示す。

ウェーハ異物検査装置「ISシリーズ」、ウェーハ外観検査装置「WIシリーズ」などからの異物・欠陥データや、光学顕微鏡、SEM、FIB装置などのレビュー・分析装置からの画像データは、サーバ内のデータベースに蓄えられる。クライアントである解析用ワークステーションには種々の解析アプリケーションプログラムが組み込まれており、データベースサーバからデータを入力し、各種の解析を高速に実行する。また、寸法、合わせ精度などのプロセスパラメータ管理用データも収集、解析する機能を持ち、統合的な歩留り向上支援ツールとして活用できる。AS-5000は、オープンな環境下で動作するクライア



注：略語説明

WS (解析用ワークステーション)
IS (ウェーハ異物検査装置)
WI (ウェーハ外観検査装置)
SEM (観察SEM)
OM (光学顕微鏡)
CD-SEM (測長SEM)
FIB (集束イオンビーム装置)

図5 “AS-5000” の構成

AS-5000はオープンなクライアント・サーバシステムであり、検査装置、レビュー装置ばかりでなく、プローブテストシステム、生産管理システムとの接続も可能である。

ントサーバシステムであることから拡張性に富み、ユーザー固有のプローブテストシステムや生産管理システムなど、さまざまなシステムとの接続も容易である。

4.2 解析機能

検査情報解析システムの最も重要な機能は、不良解析に必要なデータを迅速に出力することである。AS-5000では、日立グループ内の半導体製造部門の過去の経験を生かし、不良解析に活用される各種のマップ、グラフなどを提供している。

数多くの機能を持つAS-5000の主要解析機能を表1に示す。また、その代表的な処理例を図6に示す。例えば、同図(d)の異物・外観検査データとプローブテストデータとの相関(突き合わせ)解析は、異物・欠陥の致命性判定に有効であり、不良原因究明に不可欠な処理である。同図(e)の相関散布図は、異物・欠陥数の管理基準設定に有効である。また、異物・欠陥数と歩留りとの間にある負

の相関(異物・欠陥数が増加すると歩留りが低下する。)の有無により、適切な検査が実施されているかを確認することができる。

4.3 検査装置やレビュー装置の効率化支援

AS-5000では、異物・外観不良に関する解析をより効果的に行うため、これに接続する検査装置やレビュー・分析装置との協調処理を行っている。

(1) 検査装置との協調処理

異物・外観不良の発生工程・装置を的確に特定するためには、前工程欠陥削除は欠かすことのできない処理である。しかし、検査のたびごとに、以前の検査工程で得られたすべての検査データと突き合わせを行うことは、処理に長い時間を要する。

AS-5000では、同一ウェーハの検査データが入力されるごとに、累積欠陥データを作成し、記憶する。そして、ウェーハ識別番号に基づいて、そのウェーハの累積欠陥データを読み出すことにより、検査終了後、直ちに前工程欠陥削除を行い、着目工程での異常発生を発見する。

(2) レビュー装置との協調処理

不良工程・装置の推定や不良発生メカニズム解明では、画像情報は有力な手がかりである。デバイスパターンの微細化が進むに従って、その重要性はますます増大している。しかし、検査装置で検出したすべての異物・欠陥をレビューしたのでは、トータルのTAT (Turn-around Time)を増大させる。

AS-5000は、検出した異物・欠陥の中からレビューすべきものを自動的に選択するレビューサンプリング機能を持っている。レビューサンプリング処理では、クラスタリング処理で求めた密集欠陥やきず欠陥の中の代表欠陥、ウェーハ全面で戦略的に選択したランダム欠陥などをレビューすべきものとして自動的に指定する。また、

表1 解析機能

“AS-5000”は、異物・外観・プローブテストに関する定形解析機能、相関解析機能、レビュー装置から入力した画像データの管理、プロセスパラメータの管理などの機能を持つ。

解析種別	機能概要
異物定形解析	異物マップ(外観検査、プローブテストとの突き合わせを含む。), 工程追跡, 異物ヒストグラム, 時系列推移
外観定形解析	欠陥マップ(異物検査、プローブテストとの突き合わせを含む。), 工程追跡, 欠陥ヒストグラム, 時系列推移
テスト定形解析	不良カテゴリーマップ, 歩留り時系列推移, 歩留りヒストグラム
相関解析	相関散布図(異物-欠陥, 異物-歩留り, 欠陥-歩留り), 相関係数図
画像管理	画像検索, 画像表示
プロセスパラメータ管理	時系列推移, 歩留りとの相関図

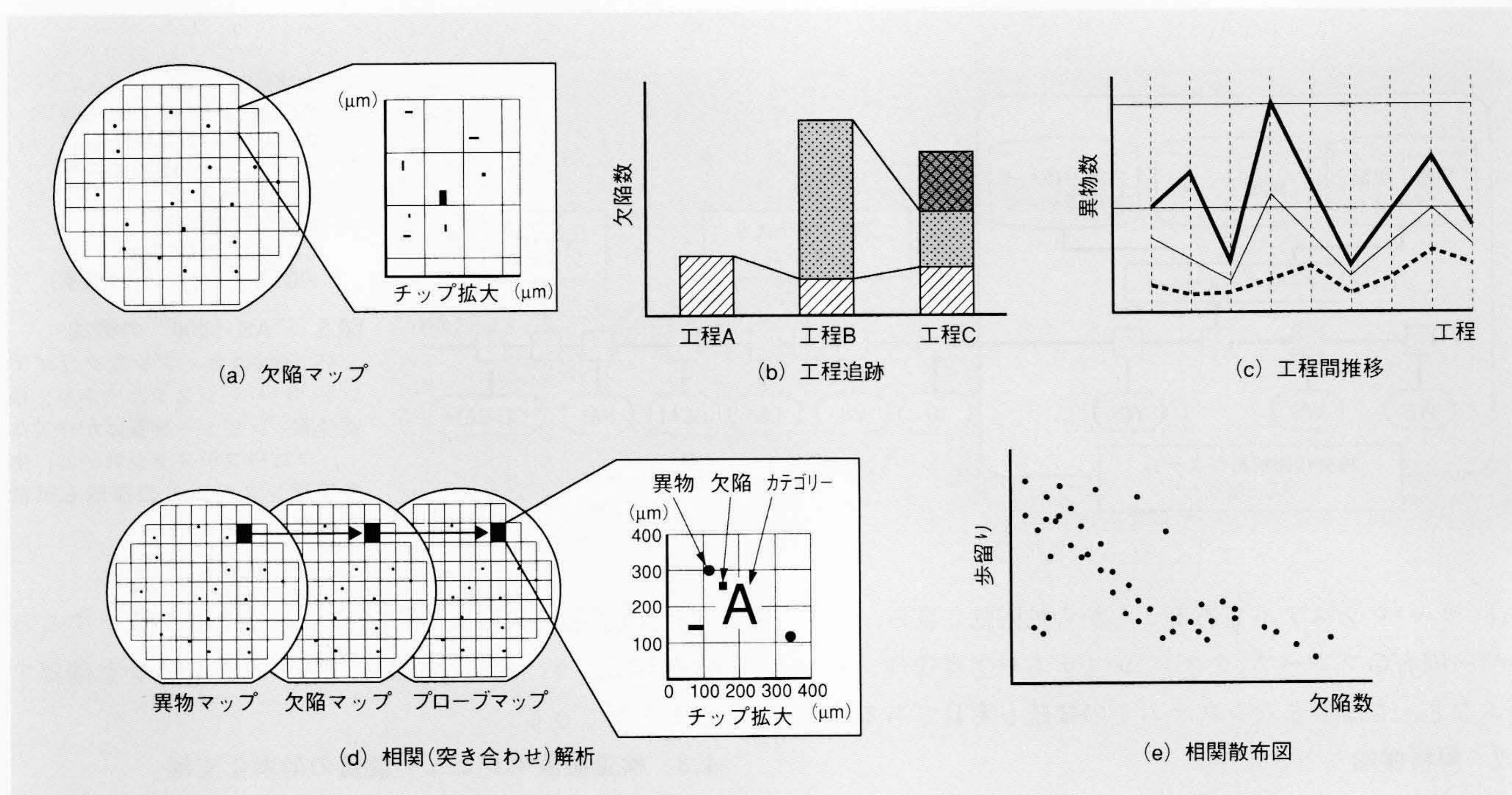


図6 “AS-5000”による処理例

AS-5000による代表処理例を示す。異物・外観定形解析では、マップ表示、工程追跡、時系列推移を、相関解析では異物・欠陥・プローブテストマップ突き合わせ、相関散布図などの処理を高速に行う。

画像データベースとの連携により、レビュー装置で自動収集した画像に対し、AS-5000クライアント上で欠陥分類などの処理を行うこともできる。

5. おわりに

ここでは、半導体デバイスの高歩留り生産を支援する検査情報解析システム“AS-5000”について述べた。

このシステムでは、検査・計測装置、レビュー・分析装置を有機的に結合することにより、異物・外観検査による不良解析を効率よく行うことを可能にした。

今後、デバイスパターンの微細化、ウェーハの大口径化に伴い、異物・欠陥の管理、プロセスパラメータの管理はますます重要になると思われる。これからも、検査情報解析システムの機能の充実を図っていく考えである。

参考文献

- 1) 石川, 外: 半導体における異物検査データ解析システムの開発, 日立電子エンジニアリング技報, 創刊号, 4-7 (1991)
- 2) 石川, 外: ウェーハ異物・外観統合解析システム, 日立評論, 76, 7, 539~542(平6-7)
- 3) S.Ishikawa, et al.: Inspection and Analysis System for Wafer Pattern Defects, Hitachi Review, 44, 2, 103-106(1995)
- 4) J. Nakazato, et al.: Development of Semiconductor

Yield Management System and Total CIM System,
Proc. 5th International Symposium on Semiconductor
Manufacturing, 309-312(1996-10)

執筆者紹介



浜田利満

1973年日立製作所入社, 電子デバイス製造システム推進本部 装置第1部 所属
現在, 半導体検査システムの開発, 企画に従事
工学博士
計測自動制御学会会員, 精密工学会会員
E-mail: dshama@cm.head.hitachi.co.jp



中里 純

1975年日立製作所入社, 生産技術研究所 生産システム部 所属
現在, 半導体・薄膜製品の生産システムの研究, 開発に従事
オペレーションズ・リサーチ学会会員
E-mail: nakazato@perl.hitachi.co.jp



水野文夫

1970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, 半導体検査システムの開発に従事
技術士(電気・電子部門)
電子情報通信学会会員
E-mail: mizuno_f@cm.naka.hitachi.co.jp



渡辺健二

1978年日立製作所入社, 半導体事業部 生産技術センタ 第1生産技術部 所属
現在, 半導体前工程検査, 計測システムの開発に従事
E-mail: watanabe@cm.musashi.hitachi.co.jp