

ウェーハ異物検査システムの活用法

Visual Inspection System for Particles Generated from LSI Manufacturing Processes

LSIの微細化が進むにつれて、製造工程で発生する異物が歩留り低下の要因に占める割合がますます高くなってきている。しかも検出すべき異物の寸法は、すでに目視の限界を越えている。これに対処するためには、高速・高信頼度の異物検査装置によって異物発生を定量的に把握し、早期に適切な対策を施すことが不可欠である。

日立グループで開発した装置は、光学処理(レーザの偏光利用)により、複雑背景(回路パターン)上の微小異物を高速に抽出できるという特徴を持つ。さらに、異物検査結果をデータベース化して、これを基とする不良解析処理と、検出異物の走査電子顕微鏡での観察・分析による発塵(じん)源の総合的な推定を行えるシステムにより、効果的な発塵対策を迅速に施すことを可能とした。

秋山伸幸* Nobuyuki Akiyama
谷口雄三** Yûzô Taniguchi
塚越雅樹*** Masaki Tsukagoshi
小泉光義**** Mitsuyoshi Koizumi

1 はじめに

4 MビットDRAM(Dynamic RAM)に代表される高集積LSI製造の初期工程での不良の大部分は、製造プロセス中での発塵に起因する。したがって、製品歩留りを向上させるには、異物付着の低減および異物付着ウェーハの早期摘出が必要である。このため、異物付着状態を高速・高信頼度で把握できる異物検査装置を中核とした異物検査のシステム化は、LSI試作期間の短縮と量産時での歩留り確保に不可欠なものとなっている。これらにより、プロセス中の発塵の多い工程(設備)が摘出でき、試作期間での設備の安定稼働条件出し、および量産時での大量不良発生の防止ができる。

異物検査装置は、対象ウェーハによって2種類がある。鏡面ウェーハを対象とした高速検査装置では、0.1 μm の異物を検出でき、主にクリーンルームやステッパ、塗布装置などの搬送装置、治具の発塵評価に広く活用されている。パターン付きウェーハを対象とした検査装置¹⁾は、検査感度は前者に劣るが、パターン上の異物を検出でき、CVD(Chemical Vapor Deposition)やスパッタなどの成膜形成工程(設備)の発塵評価に使われる。

本稿では、後者の検査装置の特徴・性能と、検査データの解析処理によって発塵源の推定を可能にするシステム活用法について述べる。

2 異物検査の現状とシステム化の必要性

本章では、製造工程での発塵が不良に及ぼす影響と異物検査の現状について述べる。

2.1 異物検査の現状

パターン線幅と検出異物寸法の関係を図1に示す。4 MビットDRAMでは、パターン付きウェーハ上の検出異物寸法は、パターン線幅と同程度以下が要求される。

電気特性で不良となったウェーハの各チップについてその原因を調べると、70~80%以上のチップは異物によるパターン外観不良²⁾(半断線、ショート、汚れなど)である。その発塵原因の内訳を図1に示す。特に4~16 Mビット以降では、パターン形成工程でのプロセス発塵^{3),4)}(真空チャンバ内の物理化学反応による副生成物のたい積・はく離など)が占める割合は、従来の不良原因となっている部品・材料・薬液の汚れや環境(クリーンルーム、作業者の不備)に起因した発塵よりも多くなると予測される。そのため、パターン付きウェーハ異物検査装置を活用して、パターン形成工程でのプロセス発塵を定量的に把握して、適切な対策を施すことが必要である。対策後も、プロセス条件のわずかな変動が大きな影響を及ぼすので、重点的な監視が必要である。

2.2 異物検査システムの必要性

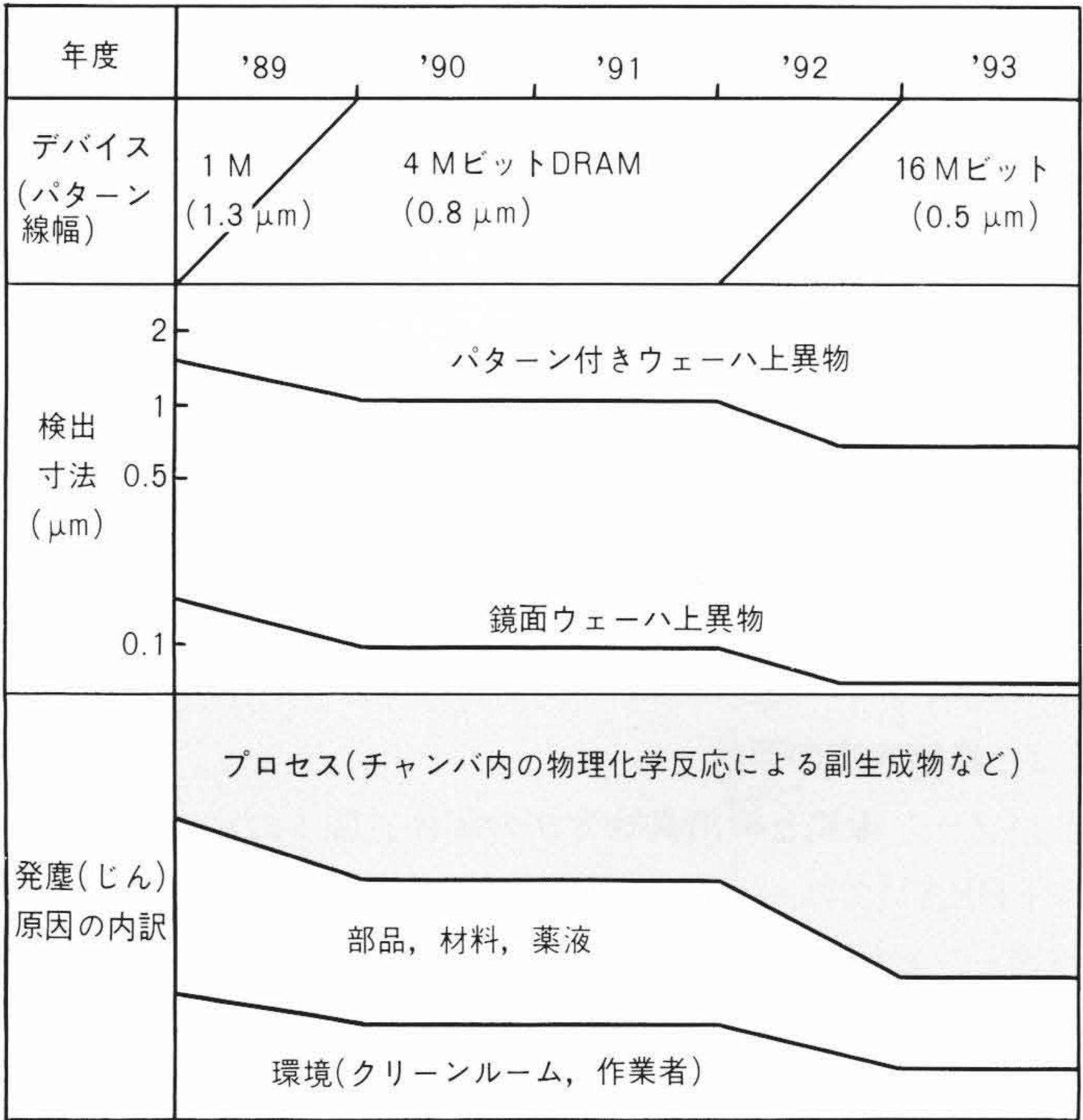
従来のパターン形成工程でのウェーハ異物検査は、種々の

* 日立製作所 生産技術研究所 工学博士 ** 日立製作所 武蔵工場 *** 日立製作所 高崎工場
**** 日立電子エンジニアリング株式会社 技術本部 工学博士

工程(設備)の異常発塵を監視するモニタとして位置づけられていた。各設備に試料ウェーハを投入して検査を行い、異常発塵がないことを確認(図2)したあと、この設備の作業を開始する。さらに作業開始後も、適宜異常発塵がないかどうかを監視して、大量不良防止と品質向上を図っている。

製造工程Nで付着した異物が次工程N+1でパターン欠陥を誘起させた例を図3に示す。このようにウェーハ上異物分布(マップ)により、プロセス設備での発塵状況を短時間に定量的に把握でき、異物のパターン欠陥への影響度も把握できる。

しかし、各工程単独の監視では、不良に対し最も影響度の



注：略語説明 DRAM (Dynamic RAM)

図1 パターン線幅と検出異物寸法の推移 検出異物寸法は、(1)パターン付きウェーハ上ではパターンと同程度、(2)鏡面ウェーハ上ではパターンの1/8～1/5程度である。4～16 MビットDRAMでは、プロセス発塵(じん)の割合が多くなる。

高い発塵工程の把握や、製造プロセス全体にわたる発塵状況の把握が十分にできず、有効な対策が迅速に施せない場合がある。そこで、工程間にわたる発塵把握と、多数ロットにわたる発塵の特徴の把握を目的とした異物情報のデータベース化が必要となる。これを解析処理すれば、発塵原因を推定することができ、総合的な対策を迅速に施すことが可能になる。

さらに、検出した個々の異物を走査電子顕微鏡で容易に観察(先の図3)・分析できれば、より確度の高い原因推定が可能となる。

これらは、多数ロットにわたるウェーハの背番号(No.)管理、異物検査結果(異物の大きさ、個数、ウェーハ上座標)のデータベース化、異物検査装置と電子顕微鏡でのウェーハ上座標の統一化などによって実現できる。

3 ウェーハ上異物検査装置

開発した手法は、レーザ照明によるパターンからの反射光の影響を光学的に除去して、異物だけを検出することに特徴がある。本手法は、パターン反射光と異物からの散乱光の偏光特性⁵⁾の相違に着目して、パターンに影響されず異物を安定に検出できるので、装置構成が簡単となり高速検査が可能に

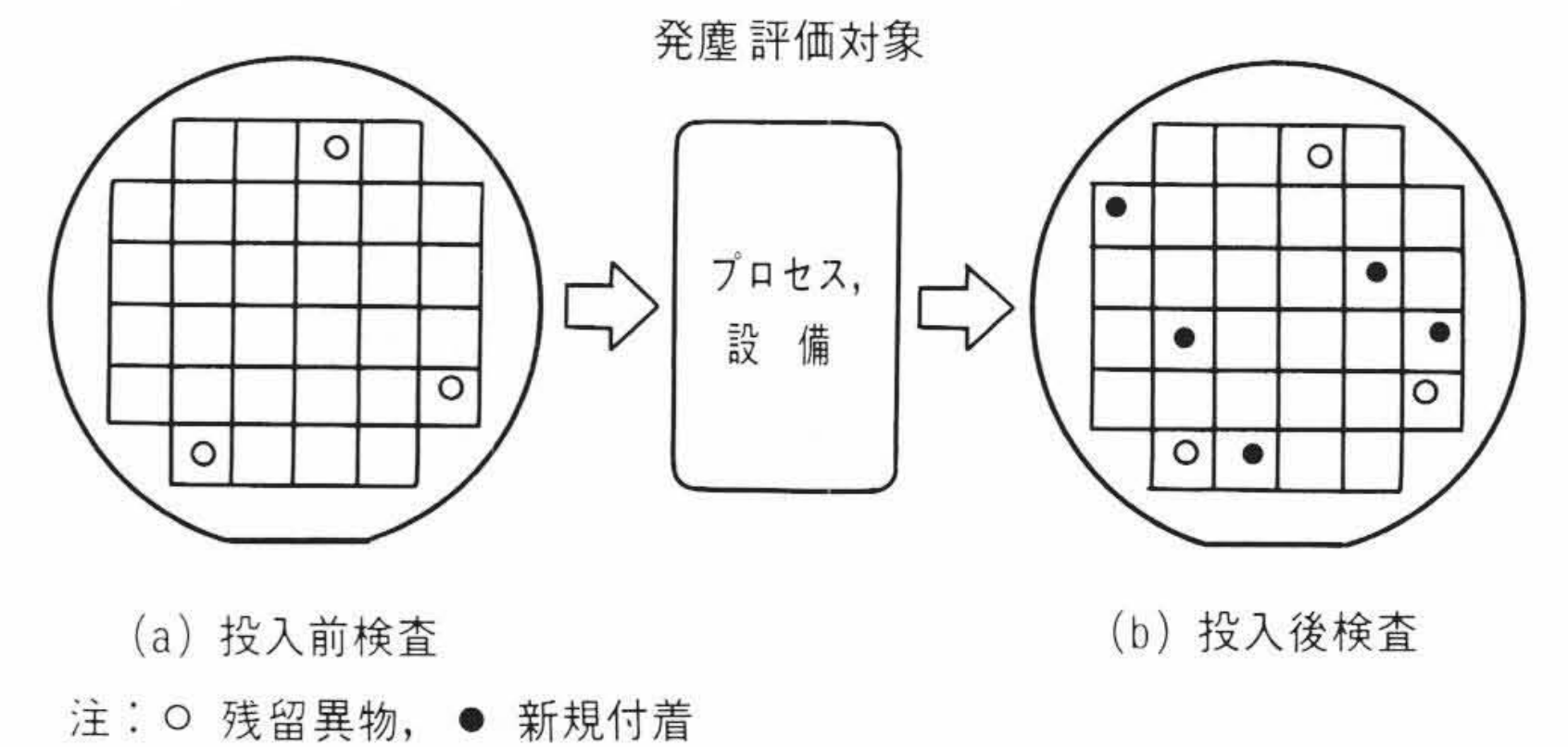


図2 異物検査による発塵モニタの方法 各設備に異常発塵がないことを確認して、当該設備の作業を着工する。本例では、黒丸印異物(新規付着)が当該設備での発塵を示し、これが基準を越えると異常発塵とする。

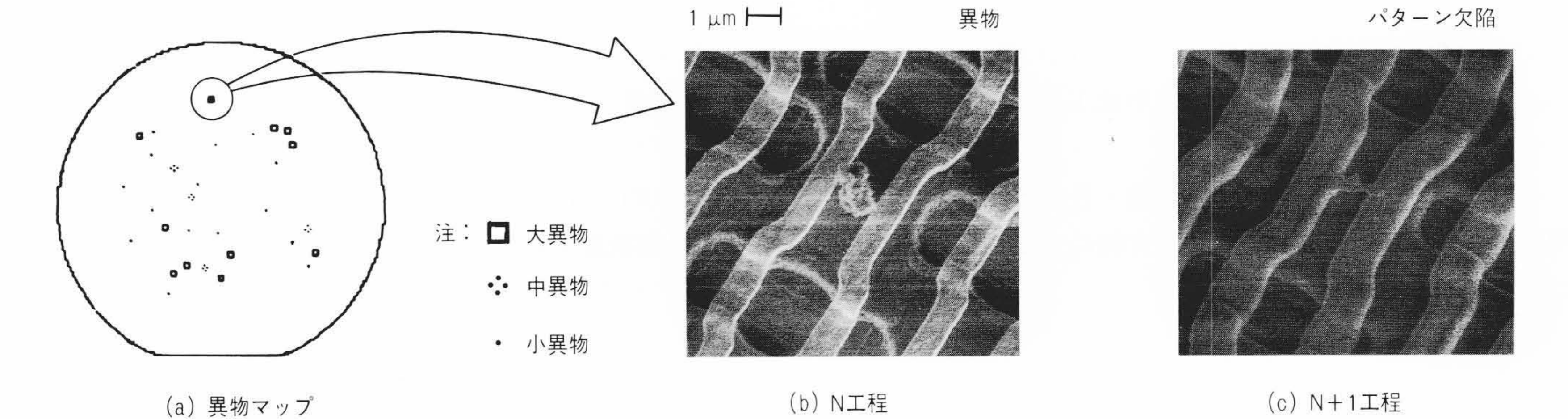


図3 ウェーハパターン上の異物と欠陥の関係 本図(a)は検出された異物位置の表示を、(b)は製造工程Nで付着した異物が、(c)N+1工程でのパターン欠陥の原因となった例を示す。

なった。

3.1 検出信号比較法⁶⁾による異物検出

検出部の装置構成を図4に示す。おのこの傾斜角度 ω_1 , ω_2 を持つレーザ照明光LとHを同時に試料上の同一点に照明し、試料からの散乱光を対物レンズで集光する。集光光は検光子ミラーで分岐し、検出器L, Hでレーザ照明光LとHに対応するそれぞれの散乱光信号 V_L , V_H を検出する。信号処理回路では、信号 V_L , V_H を比較して異物を検出する。

1 MビットDRAMを試料とした検出実験結果を図5で説明する。同図上段は $1\mu\text{m}$ 異物(粒子)とパターンの像、(a)照明Lによる散乱光画像 V_L , (b)Hによる散乱光画像 V_H , (c)照明L・Hの比較演算結果 V_L/V_H , (d)比較演算結果の2値化像を順に示す。(a)では異物の信号は背景(パターン)と同程度であるが、(c)での異物からの信号は背景よりも十分大きい。

3.2 検出原理

検出信号比較法の原理を図6に示す。本検出法は、異なった照明傾斜角度で偏光による散乱光強度が、パターンと異物で差が生じる点に着目している。同図(a)の偏光(検光子)を利用した低傾斜角度(ω_1)照明によって得られる $1\mu\text{m}$ 異物からの信号強度(V_L) ω_1 はパターンと同程度のレベルとなり、両者を安定に弁別できない。(b)の偏光を利用しない条件, すなわち(V_H) ω_2 を検出する場合では、パターン反射光は消光されないで、異物散乱光よりも大きくなる。

次に、(V_L) ω_1 / (V_H) ω_2 を演算すると、パターンでの演算結果図6(c)はレベル L_2 よりも大きくなり、(a)の場合に比べて高い弁別比が得られる。

3.3 検査装置

以上の検出原理を用いたウェーハ異物検査装置IS-2000の外観を図7に、検出性能評価の一例を表1に示す。

本装置はカセットに収納されている最大25枚のウェーハを自動的に検査でき、あらかじめ設定された異物個数の限度以上の異物付着ウェーハについては不良品として別カセットに

排除する機能を持つ。各ウェーハの異物付着状況は、ディスプレイ上の異物マップに表示される(図8)。異物マップはチ

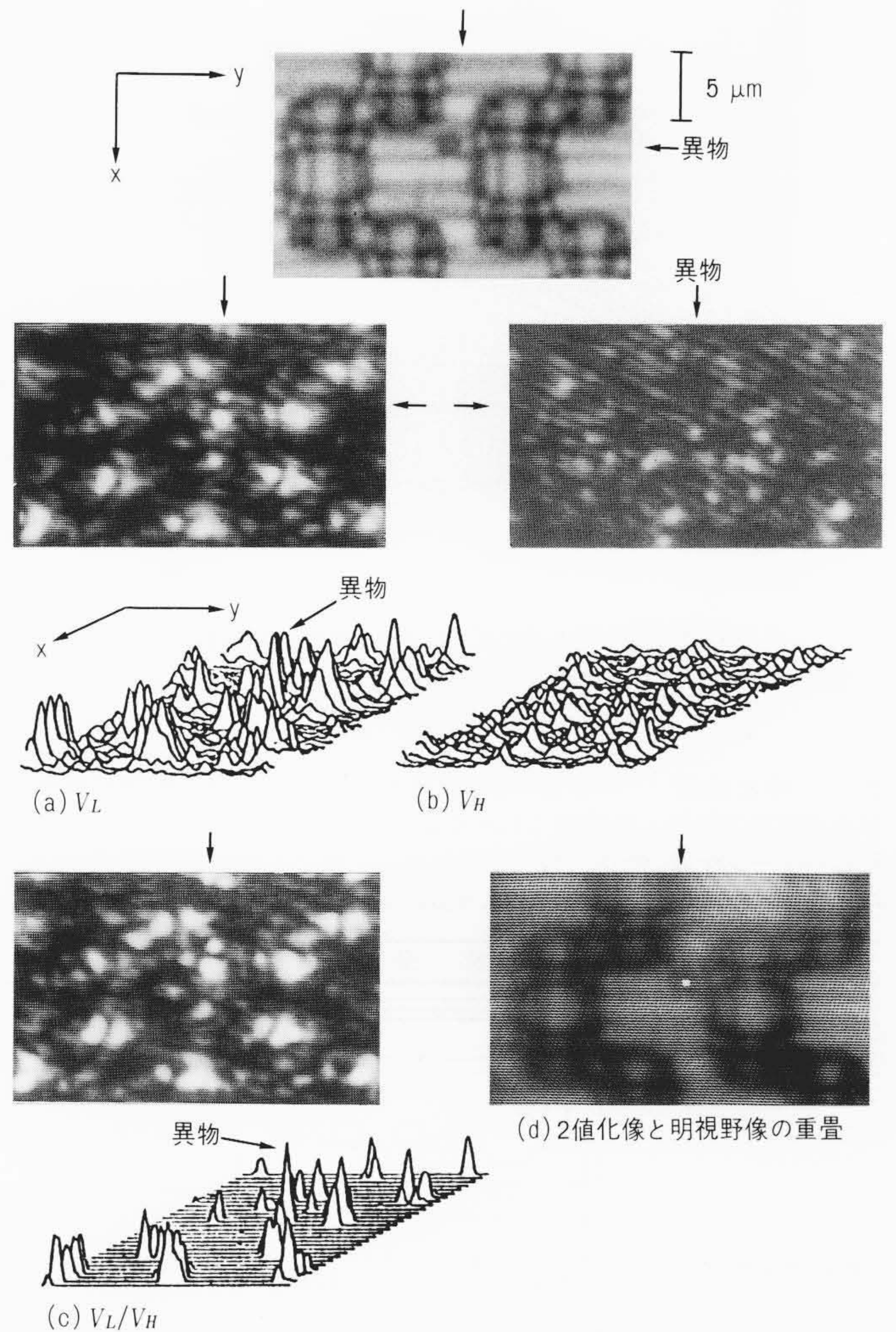


図5 検出信号比較法による異物検出例 (a)は検出信号 V_L , (b)は検出信号 V_H , (c)は比較演算 V_L/V_H の三次元表示, (d)は(c)の2値化像よっての異物の検出を示す。

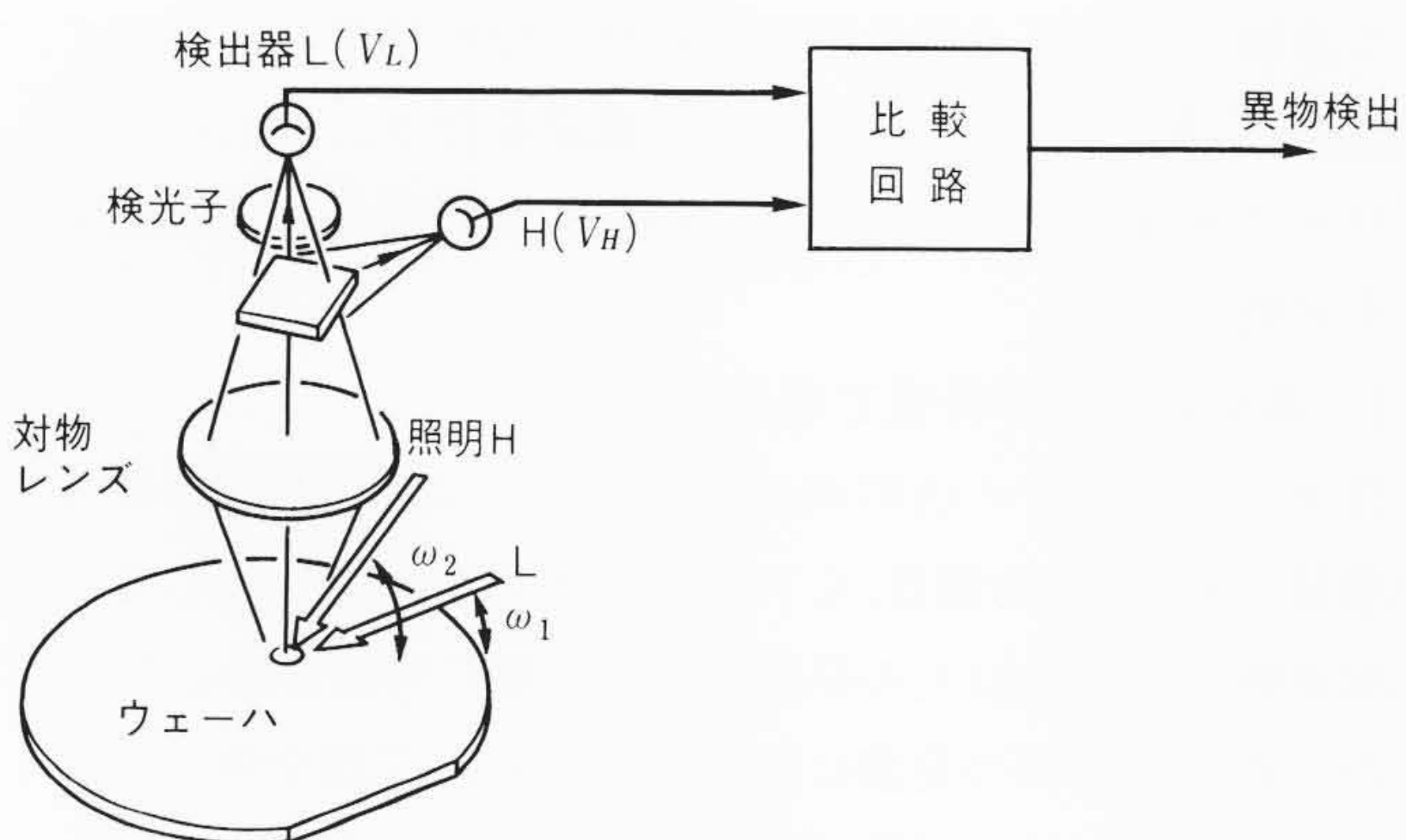


図4 検出信号比較法による異物検出 傾斜角度 ω_1 の照明Lと傾斜角度 ω_2 の照明Hからのそれぞれの信号 V_L , V_H を比較して異物を検出する。

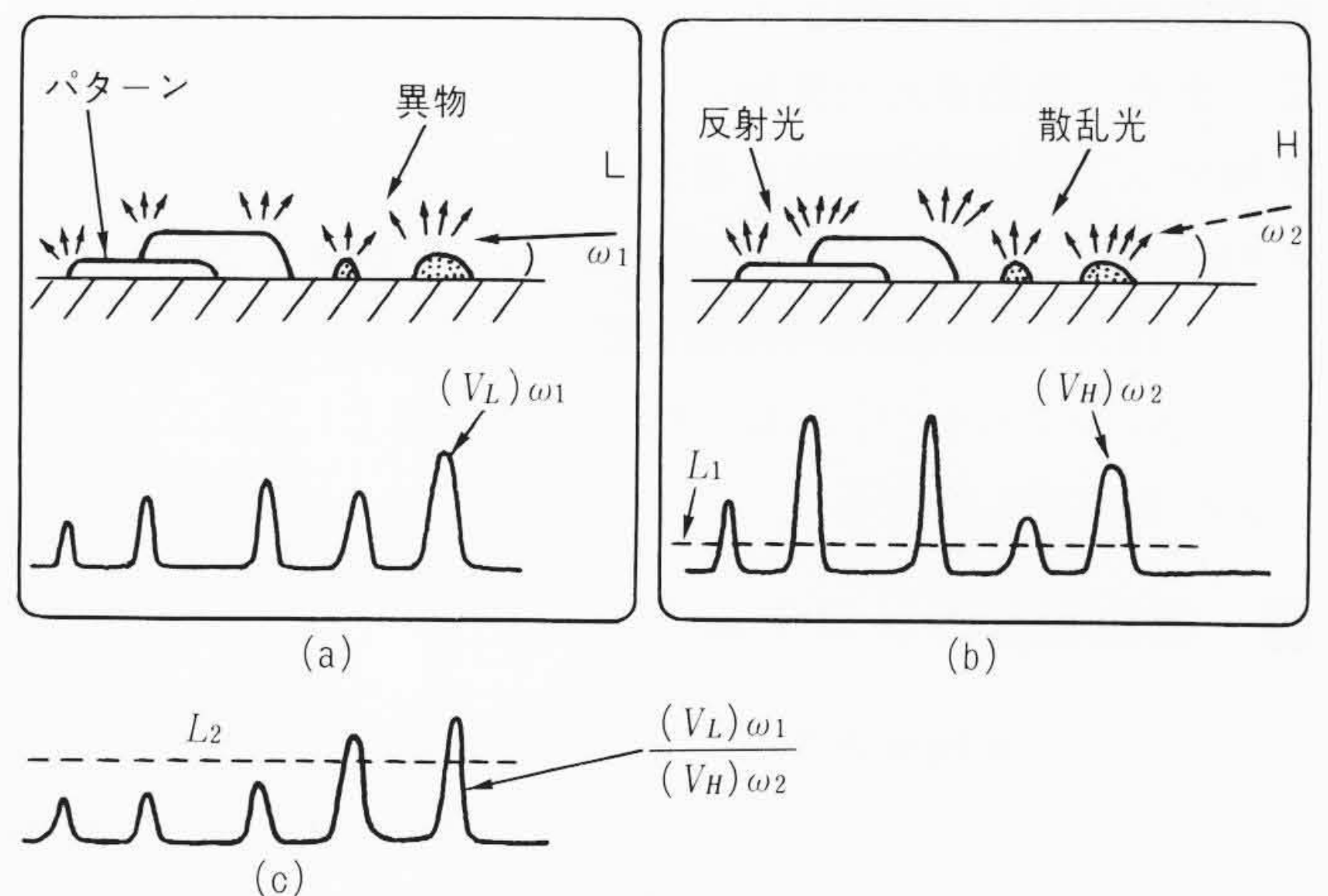


図6 検出信号比較法の検出原理概念図 (a)は照明Lによる検出信号 V_L , (b)は照明Hによる検出信号 V_H , (c)は比較演算 V_L/V_H をレベル L_2 で2値化しての異物の検出を示す。



図7 異物検査装置“IS-2000” 検出異物は自動的に顕微鏡の下に位置決めされるので、目視観察ができる。

表1 検出性能 1M DRAMを試料とした場合、0.8～5μmの異物の検出が可能である。断面図でわかるように第1工程では、Si₃O₄などの酸化膜パターンが薄いため、検出感度は高い。第2工程以降では、Poly-Si、Alなどの配線パターンが比較的厚いため、前者に比べて検出感度は異なる。

工程(最上層)	断面図	検出可能最小異物
第1工程(Si ₃ O ₄)		0.8 μm
第2～3工程(Poly-Si)		1～2 μm
第4～5工程(Al)		2～5 μm

注：試料(1MビットDRAM)

チップマトリックスも同時に表示するので、後工程での電気特性検査の不良との相関をチップごとに把握するのに便利である。また、検出された異物の目視観察は、ディスプレイ上の異物マップ内の任意異物を指定するだけで、観察顕微鏡下にその異物が自動的に位置決めされ、容易に観察できる。

4～16M DRAM用の検査装置では、検査時間の短縮(5→1分/φ150ウェーハ)とAl工程での感度向上(2～5→2～3μm)を計画している。

4 異物検査のシステム化

本章では、異物検査装置の多量の異物検査結果をデータベース化して、ワークステーションでの解析^{7),8)}の方法と、検出した個々の異物の走査電子顕微鏡での観察・分析の容易化により、総合的に発塵源の推定ができ、プロセスへの迅速な対策を可能とするシステムについて述べる。

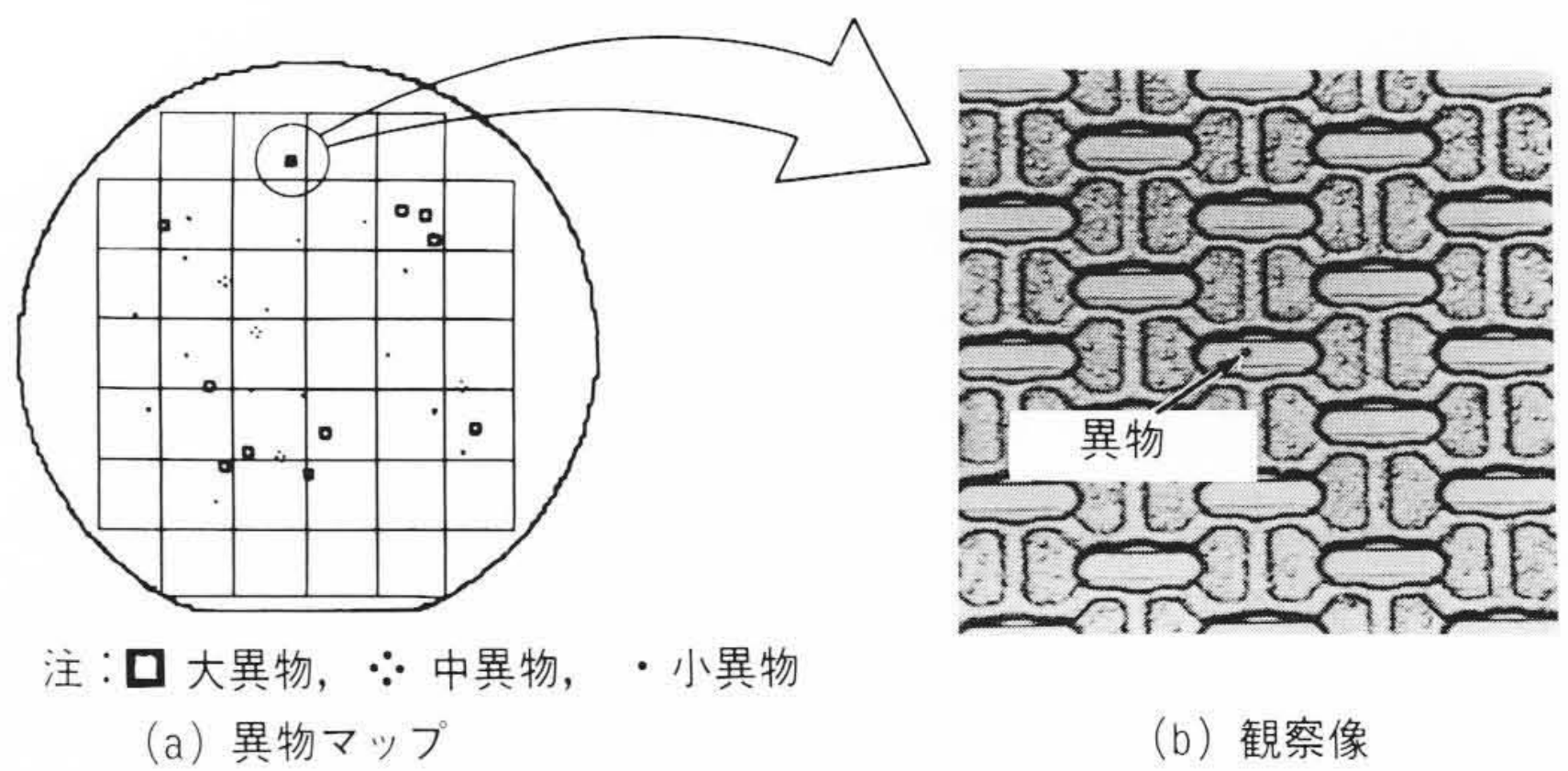


図8 異物マップ上の異物観察像 ウェーハ上の異物付着状況は、ディスプレイ上の異物マップに表示され、必要に応じて各異物を顕微鏡観察できる。

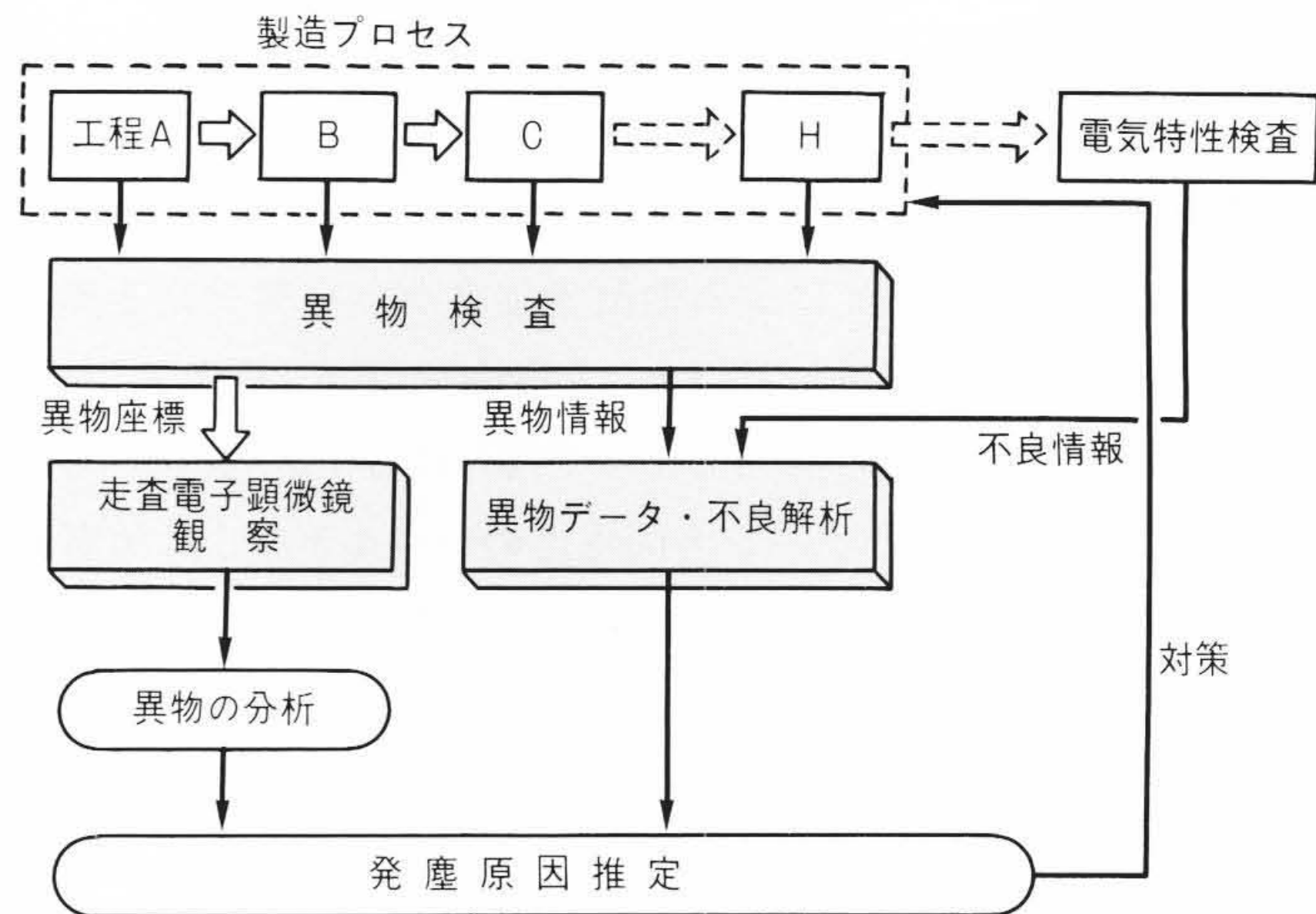


図9 異物検査のシステム構成 異物情報を基とする異物データによる不良解析と、検出異物の走査電子顕微鏡観察によって総合的な発塵原因推定ができる。

4.1 システム構成

システム構成を図9および図10に示す。
製造プロセスの各工程A～Hからの異物発生情報(異物データ)を解析して、異常発塵が生じた場合には工程を止める。この場合、異物データ・不良解析を行い、必要に応じて、検出した異物の走査電子顕微鏡での観察・分析結果とあわせて、発塵原因(装置部品、治具など)の推定を行う。これにより、プロセスを長時間停止せずに、効果的な対策を迅速に施すことを可能にする。

4.2 本システムの特徴と活用法

従来の異物検査の活用法は、工程(または製造設備)ごとに発塵量の限度(異物個数)をロットなどの単位で監視して、各工程単独で、限度以上の発塵の場合に限り対策を施していた。そのため、各工程の発塵は限度以下でも、工程全体として不良が多い場合には、対策が遅れる欠点があった。

そこで、本システムでは、複数工程間にわたる異物情報(データ)と不良の関係を把握できるように、各工程ごとのデータ

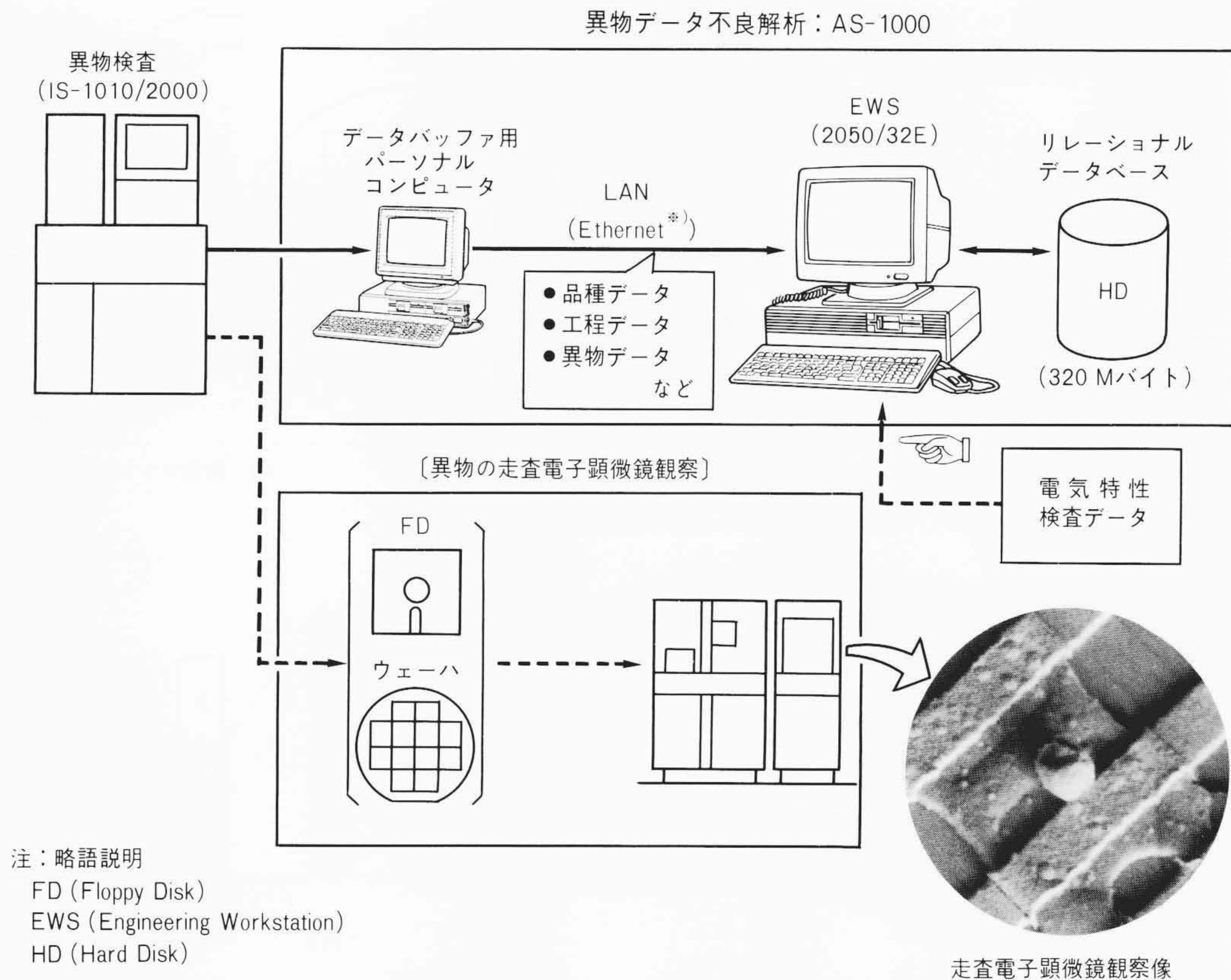


図10 システムの構成機器 異物検査データはワークステーションに送信され、リレーショナルデータベースに保持される。被検査ウェーハとFD(異物座標記憶)を走査電子顕微鏡に渡し、異物観察・分析を行う。

を基にしてデータベースを作り、これに解析処理を行った。本処理により、例えば、特定工程を通過した複数ロットにわたるウェーハ上の異物分布(マップ)を重ね合わせ、異物付着個所の偏りをマップ表示することができる。異物はその発生原因によって分布が特徴的に偏在することがあり、重ね合わせ分布の表示によって(ランダムな原因の異物は偏りがないため、無視することができるので)、各ウェーハごとのマップ表示に比べて、分布の特徴が顕在化でき、発生原因(治具、部品など)を推定しやすい。図11に示す例では、1枚ごとのウェーハ異物の顕在はわからないが、 n 枚重ね合わせ表示すると、偏在(ウェーハ周囲に異物が多い。)がわかる。解析のためのEWS(Engineering Workstation)は2050/32Eを使用し、データベース保持のためのハードディスクは320 Mバイトの容量を持つ。LANはEthernet[※])を使用しているので、複数台の異物検査装置との接続や解析作業をクリーンルーム外で行える。

4.3 走査電子顕微鏡による異物観察・分析

走査電子顕微鏡によって検出された個々の異物の表面微細形状の観察、および材料の分析³⁾を行い、発塵原因解析とあわせて、よりの確に発生原因を推定することができる。

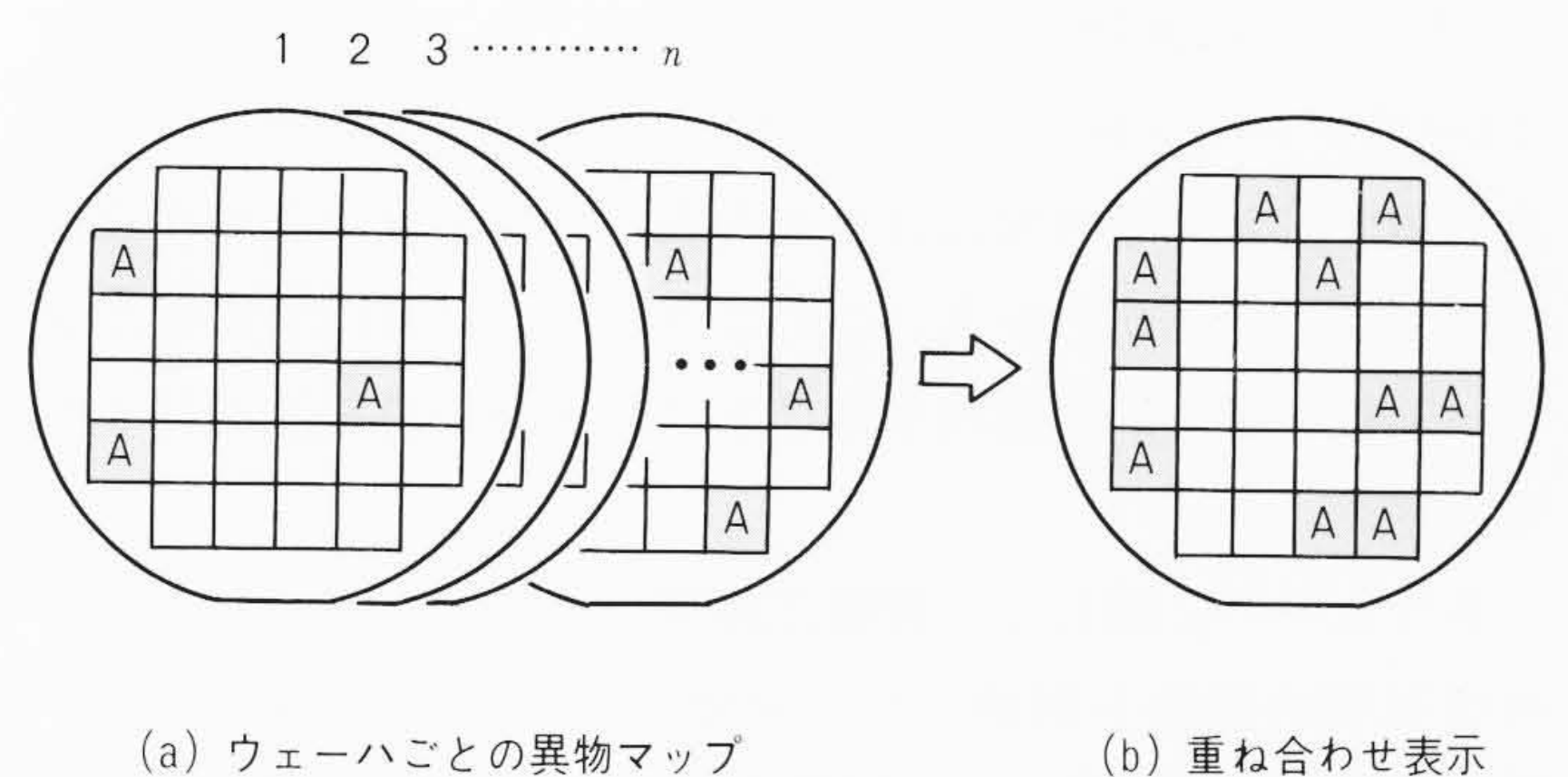


図11 重ね合わせ表示による異物の偏在の把握例 (a)の1枚ごとの異物マップでは偏在はわからないが、(b)の n 枚(例えば25枚)重ね合わせ表示すると、偏在がわかる。

従来、異物を観察するためには、検査済みウェーハを走査電子顕微鏡ステージ上に搭載し、異物検査装置から出力された異物マップを参照しながら、走査電子顕微鏡のステージを走査していた。しかし、走査電子顕微鏡は高倍率(モニタ上で1,600倍程度)で観察するため(先の図3および図10)視野が狭く(試料ウェーハ上で50 μm 角)、ステージの手動操作による位置決めが困難であった。

そこで、本システムでは、異物マップを記憶したFD(Floppy Disk)で走査電子顕微鏡のステージを自動操作する方式を用い

※) Ethernet：米国XEROX社の登録商標である。

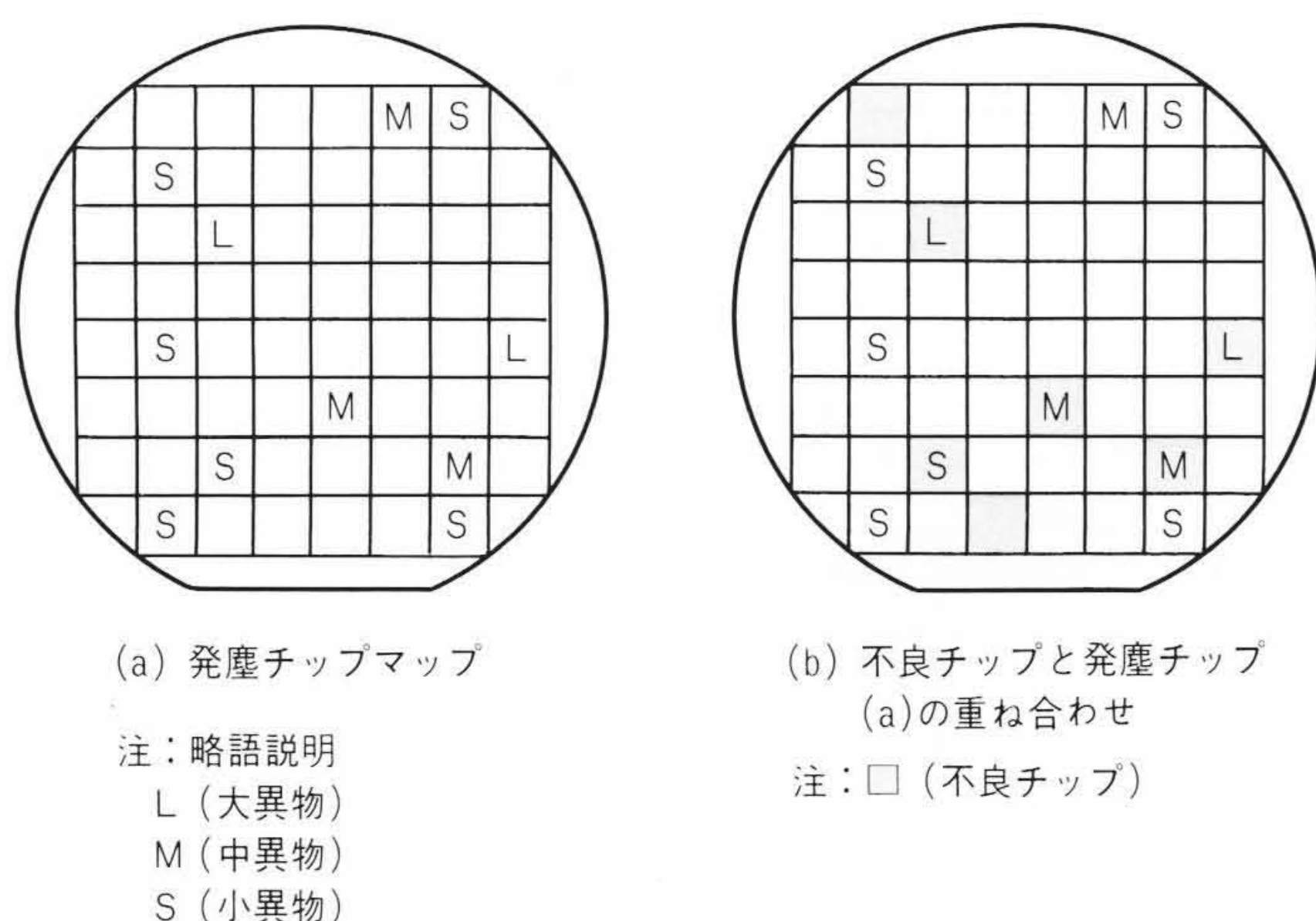


図12 発塵と不良の相関表示例 ウェーハ上の発塵チップ(a)が、電気特性検査(b)で不良となる割合が高い例を示す。L(大異物)とM(中異物)の発塵チップは、S(小異物)に比べて不良との相関が高い。

た。作業者はディスプレイ上のマップを参照しながら、観察したい異物No.をキーボードで指定すると、所望の異物を容易に位置決めできる。

4.4 不良解析例

各ウェーハ上のチップごとの電気特性(プローブ)検査結果と発塵との関係を工程ごとに整理することにより、不良に影響を及ぼす(発塵)工程が把握できる。

図12に示した例では、(a)特定工程のウェーハ上の発塵チップ(チップ内の異物の大きさが表示されている。)のマップ、および(b)プローブ検査での不良チップ(塗りつぶしチップが不良を示す。)と(a)との重ね合わせを表示しており、この場合は相関が高いことがわかる。このように不良に及ぼす影響が大きい工程を重点的に監視することで、大量不良発生防止ができる。

各ウェーハに関して、複数工程間(A~H)にわたり、新規、残留異物の推移を解析して、発塵問題工程を把握できる。

図13に示した例では、A工程発塵はH工程まで多く残留しているので、重点的な対策が必要である。B、C工程の発塵は、途中で離脱する割合が多いので、A工程に比べて対策に重点が置かれていない。このように対策の優先度を定めることにより、歩留りを確保しながら対策を施すことができる。

5 おわりに

LSI製造工程での発塵原因の推定を目的として、異物検査システムについて述べた。本稿で述べた検査装置の特徴をまとめると、レーザの偏光特性を利用して試料上のパターンと異物を光学的に弁別し、高速検査を可能にしていること、さらに、多量の異物検査結果をデータベース化して、ワークステーションでの解析処理と、検出異物の走査電子顕微鏡での観察・分析の容易化により、総合的に発塵源の推定ができ、プ

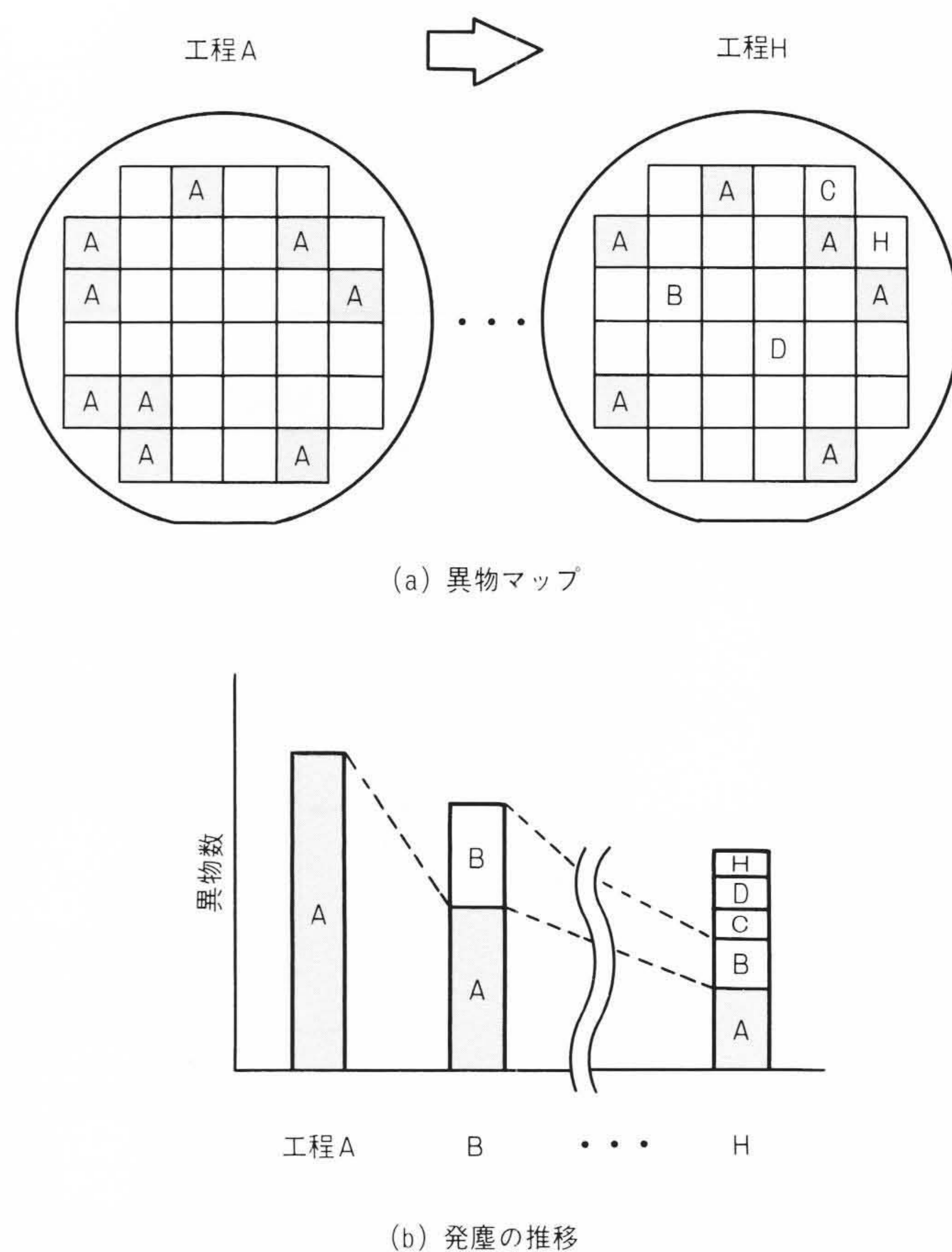


図13 発塵工程の把握例 (a)複数工程間にわたり、異物の推移を解析すると、(b)A工程の発塵がH工程まで多く残留していることがわかる。

ロセスへの迅速な対策が可能となること、である。

参考文献

- 1) 秋山：半導体異物検査技術，精密工学会誌，55，2，294～298 (1989)
- 2) 窪田，外：異物・外観検査装置，日立評論，71，5，409～416 (平1-5)
- 3) 井上：製造装置・搬送系の発塵問題と無塵化，Semicon News，8，11，31～40 (1988)
- 4) 服部：VLSIプロセスにおけるコンタミネーション・コントロール，Semiconductor World，5，12，119～125 (1986)
- 5) 小泉，外：LSIウェーハパターンからの反射光の解析，計測自動制御学会論文集，21，8，86～92 (1985)
- 6) 小泉，外：LSIウェーハパターンからの反射光の偏光特性を利用した異物検出法の開発，計測自動制御学会論文集，25，9，30～37 (1989)
- 7) 石川，外：半導体における異物発生状況解析システムの開発，JSQC第20回年次大会研究発表要旨，5～8 (1990-10-27)
- 8) 日立電子エンジニアリングカタログ：ウェーハ異物解析システム“AS-1000” (平2-10)