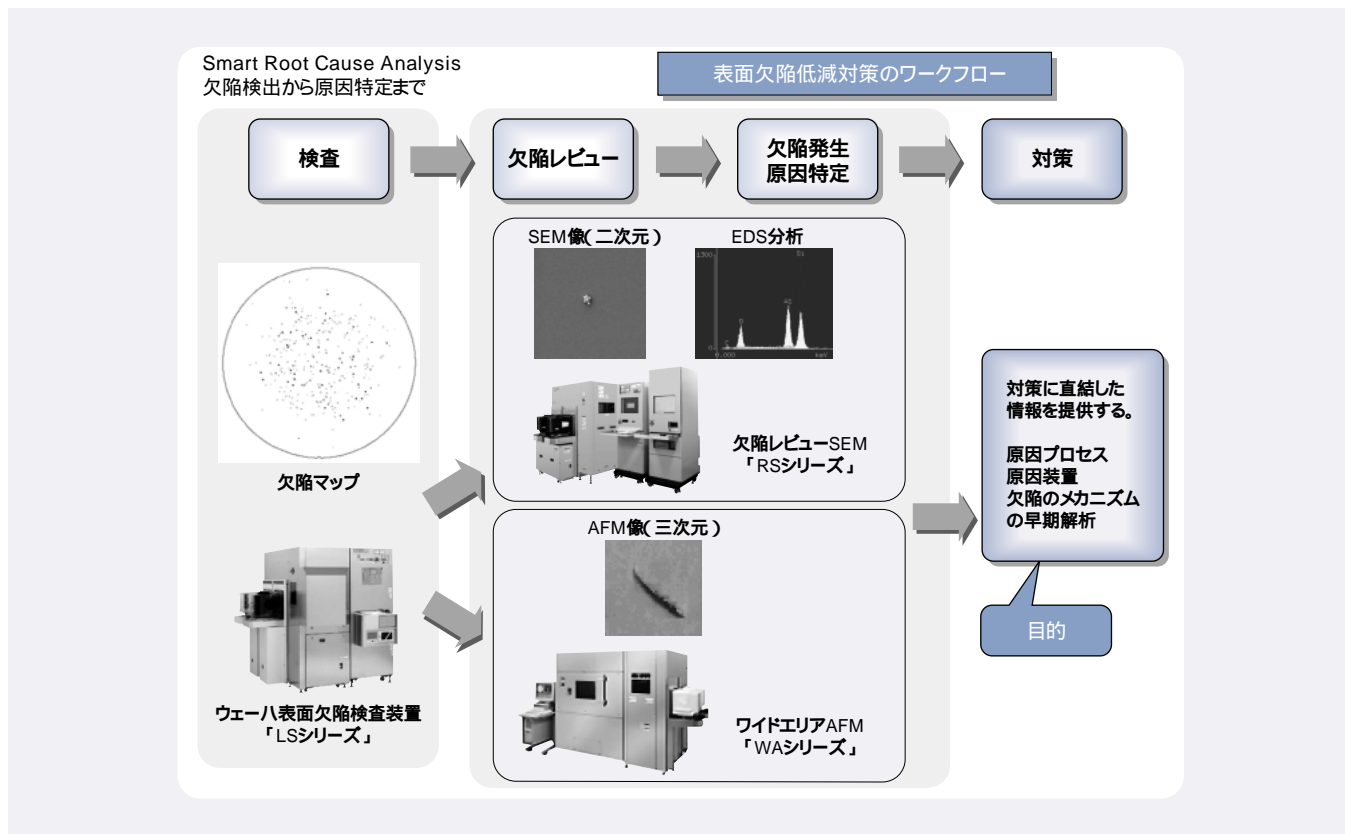


# ウェーハ表面検査・解析システムソリューション

## Scanning Surface Inspection System with Defect Review SEM and Analysis System Solution

太田 英夫 Hideo Ōta  
蜂谷 正幸 Masayuki Hachiya

一安 洋二 Yōji Ichiyasu  
樽沼 透 Toru Kurenuma



注:略語説明 SEM(Scanning Electron Microscope:走査型電子顕微鏡), EDS(Energy Dispersive X-ray Spectrometer:エネルギー分散型X線分析装置)  
AFM(Atomic Force Microscope:原子間力顕微鏡)

### 表面検査装置と欠陥レビューSEMのリンクージュ

ウェーハ表面欠陥検査装置から得られた欠陥位置座標を元に、欠陥SEMレビューにより、観察・分類、およびEDS元素分析すること、またはAFMを用いて三次元観察することにより、顧客生産システムの歩留り向上に貢献する情報を提供する。

ウェーハ表面検査装置で得られる情報は、欠陥マップや欠陥個数などに限られているが、欠陥を低減するための対策を迅速に行うためには、欠陥がどこから発生しているかを知ることが重要である。そのためには、欠陥の形状や成分など、より具体的な情報が必要となってくる。

株式会社日立ハイテクノロジーズは、ウェーハの表面欠陥検査装置と欠陥レビューSEMおよび日立建機ファインテック株式会社のワイドエリア原子間力顕微鏡

(AFM)などをラインアップしている。今回、パターン無しシリコンウェーハの表面解析についての情報を提供する歩留り向上技術「Smart Root Cause Analysis」を開発した。従来、パターン無しシリコンウェーハの表面検査結果の座標出力に基づく欠陥観察は、アライメント基準が無いため困難を極めていたが、このシステムは、そうした課題を解決し、効率のよい致命的欠陥対策に大きく貢献するものである。

## 1 はじめに

パターン無しシリコンウェーハ基板には、大別すると二つの用途がある。一つは、基板上に回路パターンを形成し、デバイスを製造する本来の用途である。もう一つは、デバイス製造装置、すなわち成膜装置や、露光装置、

エッチング装置、CMP(Chemical Mechanical Polishing)装置、洗浄装置などから発生する欠陥を調べるための用途である。前者のウェーハをプライムウェーハ、後者のウェーハをテストウェーハ、もしくはモニタウェーハ、タミーウェーハなどと呼んで区別している。

テストウェーハの消費量は、デバイスを製造するため

**表1** 表面欠陥解析の目的と対象ウェーハおよびユーザー  
表面欠陥解析は、半導体産業にかかわる多くのユーザーが必要としている。

目的	対象ウェーハ	ユーザー
PWP測定 (ウェーハ搬送発塵)	鏡面ウェーハ	デバイスメーカー 装置・材料メーカー
PID測定 (プロセス起因発塵)	膜付きウェーハ	
シリコンウェーハの 表面欠陥測定	鏡面ウェーハ	ウェーハメーカー

注:略語説明 PWP( Particle per Wafer Pass ),PID( Process Induced Defect )

のプライムウェーハとほぼ同数で、テストウェーハを用いた欠陥測定が広く行われている。デバイスの微細化に伴って、要求される欠陥計測の対象サイズは、年々小さくなってきており、欠陥の検出や解析が難しくなっている。

テストウェーハを用いた製造装置の欠陥解析方法には、ウェーハ搬送発塵(じん)解析とプロセス起因発塵解析がある。ウェーハ搬送発塵(以下、PWP:Particle per Wafer Passと言う。解析とは、実際にテストウェーハを製造装置の中で搬送し、搬送途中で発生してウェーハに付着する発塵を調べる作業である。プロセス起因発塵(以下、PID:Process Induced Defectと言う。解析は、実際のプロセス条件で動作させ、成膜(ダミードポ)などの処理がなされたあと、ウェーハのプロセス起因によって発生する欠陥を調べる作業である(表1参照)。

ここでは、ウェーハの欠陥検査装置と、上記の解析手法について述べる。

## 2 ウェーハ表面欠陥検査装置

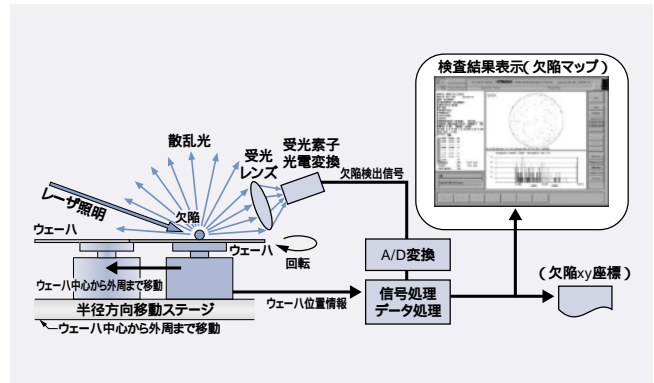
パターン無しシリコンウェーハ基板の欠陥については、レーザー散乱原理を応用し、検出する。株式会社日立ハイテクノロジーズが提供するウェーハ表面検査装置LSシリーズの検出原理を示す(図1参照)。これは、レーザーをウェーハ上方より照射し、欠陥からの散乱光を受光レンズで集光し、光電変換素子で電気信号に変換して欠陥を検出するものである。ウェーハは、回転ステージに載せて回転しながら半径方向に移動することにより、ウェーハ全面を高速で検査する。ステージに取り付けたエンコーダにより、ウェーハの欠陥位置情報を得る。

ウェーハ表面検査装置の最新モデル「LS6800」の最高到達感度は、鏡面ウェーハ上で36nmを達成している。

## 3 ウェーハ表面検査と欠陥レビュー装置とのリンク

### 3.1 欠陥レビューSEM

ウェーハ表面検査装置で得られる情報は、欠陥マップや、欠陥個数などに限られているが、欠陥を低減するた



**図1** ウェーハ表面検査装置の検出概要  
ペアウェーハ上にレーザーを照射して、高速に欠陥を検出する。

めの対策を迅速に行うためには、欠陥がどこから発生しているかを知ることが重要であり、欠陥検査で欠陥を検出し、そこで得られた欠陥の位置座標出力に基づいてSEM(Scanning Electron Microscope:走査型電子顕微鏡)などの高倍の観察装置で欠陥観察することは極めて有効な手段である。

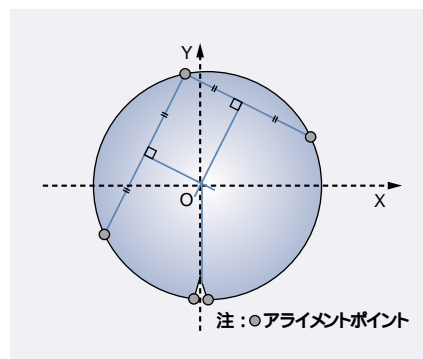
欠陥レビューSEM「RSシリーズ」は、このような背景の下で、近年の高感度化した欠陥検査装置で得られる膨大な検査結果を、効率よく、短時間でレビューするために開発された。

### 3.2 パターン無しウェーハの欠陥レビューの課題

ウェーハ表面検査・欠陥解析の手順を以下に示す。

- (1) 表面欠陥検査による欠陥検出、および欠陥位置座標の出力
- (2) 表面欠陥検査装置とレビューSEM装置の座標マッチングアライメント(図2参照)
- (3) レビューSEMによる欠陥探索および観察
- (4) EDS(Energy Dispersive X-ray Spectrometer:エネルギー分散型X線分析装置)による欠陥解析(元素分析)

しかし、この手法は欠陥解析に有効と認識されながら、欠陥観察の実行は上記2~3項のSEM側で欠陥を再捕捉するところに障壁があり、困難を極めていた。パターン付きウェーハの場合は、ウェーハ内に形成されて



**図2** 鏡面ウェーハのアライメント例  
外周3か所、Vノッチ先端2か所の計5か所でアライメントを行う。

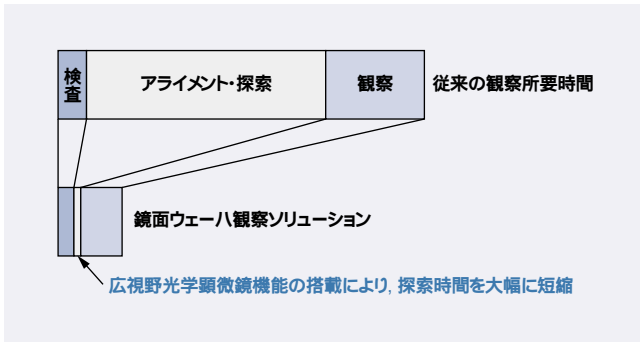


図3 広視野顕微鏡による鏡面ウェーハ観察の効率化  
観察効率が飛躍的に向上する(～100倍)

いるデバイスチップダイの原点を利用し、アライメントが比較的容易に取れるため、欠陥を見つけやすい。しかし、一方のパターン無しシリコンウェーハは、ウェーハの外形を基準とすることが唯一のアライメント手段であり、検査機側の座標系とレビュー側の座標系のマッチングを精度よく取ることが難しいためである。

### 3.3 広視野光学顕微鏡機能

そこで日立ハイテクノロジーズでは、この課題を解決するために、欠陥レビューSEM「RSシリーズ」に広視野光学顕微鏡機能を搭載し、アライメント誤差の大きい鏡面ウェーハ欠陥観察時の効率を大幅に向上させた(図3, 4参照)。

現在、ウェーハ上の600 $\mu$ m角の視野にある70 nmサイズの欠陥を自動捕捉することが可能であるが、これは一般的な欠陥検査装置との総合アライメント誤差量が200 $\mu$ m以下という条件に対し十分な余裕を持っており、各検査装置とのマッチングが可能である(図5参照)。

### 3.4 EDSによる欠陥元素分析

RSシリーズでは、解析機能として欠陥に含まれる元素を同定する、EDS機能をオプションとして搭載することが可能である。対象欠陥に電子線を照射して発生したX線エネルギーを検出して元素同定を実現する外、その検出した元素構成と登録された物質のライブラリとの比較により欠陥物質の同定が実現可能となる。

この機能は欠陥レビュー、分類機能と併せて欠陥の発生を究明する強力な機能であり、効率の良い致命的欠陥対策に大いに貢献している(図6参照)。

## 4 AFMによる表面解析

### 4.1 AFMによる三次元表面形状解析

欠陥レビューSEMにより、簡便に表面欠陥のレビューを行うことが可能となったが、さらに、表面の三次元形状を観察する場合は、AFM(Atomic Force Micro-

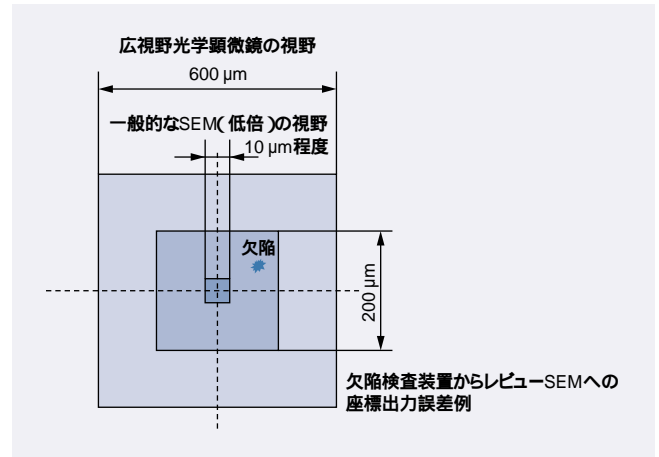
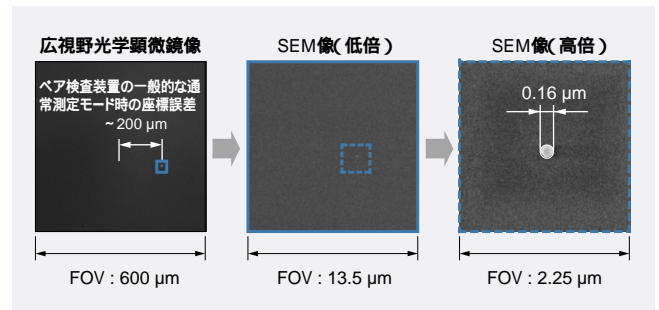


図4 広視野光学顕微鏡の視野  
広い視野で欠陥の探索が可能である。



注: 略語説明 FOV( Field of View )

図5 広視野光学顕微鏡機能を用いて観察した欠陥の例  
最初に光学顕微鏡で欠陥をマクロに見つけ、その後、SEMでミクロ観察する。

scope: 原子間力顕微鏡)を用いると高さ方向を0.1 nmオーダーの高分解能で観察可能である(図7参照)。

AFMによる表面欠陥解析の対象としては、CMP工程で形成されるマイクロクラッチの観察や、シリコンウェーハを製造する際に形成される結晶起因欠陥COP(Crystal Originated Pit)、開口部分が100 nm以下の典型的なくぼみ状欠陥などがあげられる。

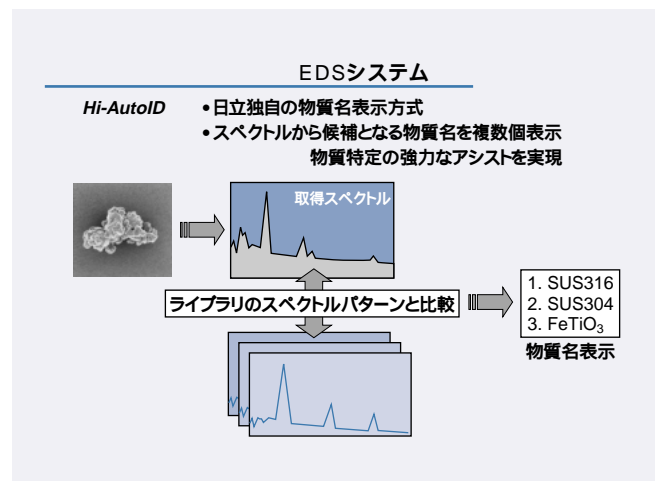
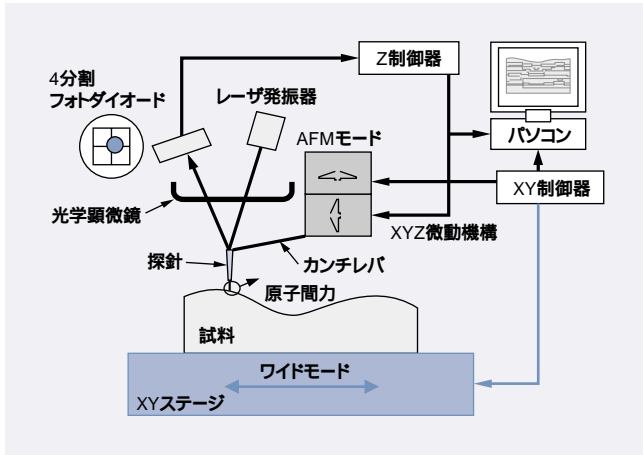


図6 EDSによる欠陥物質の同定  
取得したスペクトルパターンを、登録したライブラリと比較して、一致率の高い順に物質名を表示する。



注:略語説明 AFM(Atomic Force Microscope)

図7 日立WA型AFMのブロック図  
カンチレバのばね定数に相当する原子間力を検出しながら、試料表面を走査する。

### 4.2 表面検査装置とAFMの座標リンク

AMFIに座標リンク機能を搭載することにより、表面検査装置で得られた欠陥をAFMで観察することが可能となった。解析手順を図8(a)に示す。また、その時のオペレーション画面とAFM出力例を図8(b)に示す。

### 4.3 ヘイズ(Haze)情報とAFM

表面欠陥検査装置では、表面の点欠陥の検出のほかに、欠陥がなかった部分の表面散乱情報をマッピングする機能がある。ヘイズ情報は、最小検出感度以下の散乱信号を処理したものであり、AFMの高分解能を生かしてリンクageを行うことにより、さらに詳しい表面解析の可能性があり、今後の課題としたい。

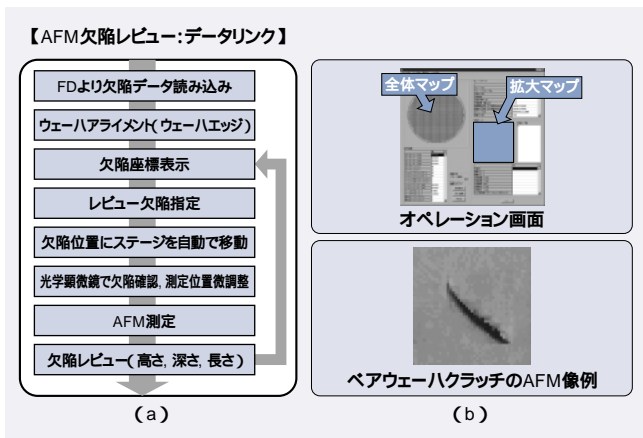


図8 日立WA型AFMによる表面欠陥解析(a)と表面三次元観察例(b)  
ペacockフェーハの表面解析の手順、およびオペレーション画面、くぼみ状欠陥出力例を示す。

## 5 おわりに

ここでは、検査解析ツールのインテグレーションによる鏡面ウェーハの欠陥検出と、解析手法について述べた。

今後、デバイスの歩留りにインパクトを与える欠陥の発生原因追究は、微細化の進展に伴い、さらに難しくなっていく状況にある。

日立グループは、検査・解析ツールのラインアップの個々の装置の性能をさらに向上させるとともに、それらを組み合わせたアプリケーションの開発を充実させ、将来のニーズに応えていく考えである。

### 参考文献

- 1) 小藪,外;半導体プロセス評価用インラインAFM(原子間力顕微鏡),日立評論,84,3,271~274(2002.3)
- 2) 野副,外;半導体デバイスの高品質・高効率生産を実現する検査・解析ソリューション,日立評論,86,7,465~470(2004.7)

### 執筆者紹介



太田 英夫

1979年日立電子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 半導体製造装置営業統括本部 評価装置営業本部 アプリケーション技術部 所属  
現在,半導体検査装置のマーケティングに従事  
応用物理学会会員  
E-mail:ohta-hideo@nst.hitachi-hitec.com



蜂谷 正幸

1980年日立電子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本部 半導体検査システム第二設計部 所属  
現在,ウェーハ表面検査装置の設計に従事  
E-mail:hachiya-masayuki@naka.hitachi-hitec.com



一安 洋二

1984年日立製作所入社,株式会社日立ハイテクノロジーズ 半導体製造装置営業統括本部 評価装置営業本部 アプリケーション技術部 所属  
現在,半導体検査・レビュー装置のマーケティングに従事  
応用物理学会会員  
E-mail:ichiyasu-yoji@nst.hitachi-hitec.com



樽沼 透

1982年日立建機株式会社入社,日立建機ファインテック株式会社,開発製造本部 第二設計部 所属  
現在,AFMの開発設計に従事  
日本機械学会会員,ロボソ学会会員  
E-mail:kurenuma82@hitachi-kenki.co.jp