

平成25年度戦略的基盤技術高度化支援事業
「半導体デバイス検査装置に組み込む大容量欠陥データの解析
ソフトウェアの開発」

研究開発成果等報告書

平成26年 3月

委託者 関東経済産業局

委託先 株式会社NGR



この印刷物は、印刷用の紙へ
リサイクルできます。

目次

第1章 研究開発の概要

1-1 研究開発の背景・研究目的及び目標

- (1) 研究開発の背景
- (2) 研究目的及び目標

1-2 研究体制

- (1) 研究組織（全体）
- (2) 管理体制
- (3) 管理員及び研究員
- (4) 経理担当者及び業務管理者の所属、氏名
- (5) 他からの指導・協力者
- (6) 所在地

1-3 成果概要

- (1) サブテーマ①現状の欠陥データ解析方法の分析
- (2) サブテーマ②大容量欠陥情報データベース、欠陥データ解析方法の確立機能、レポート作成機能の実装
- (3) サブテーマ③疑似欠陥認識機能の開発

1-4 当該研究開発の連絡窓口

第2章 本論

2-1 システム構成

- (1) 物理構成
- (2) 半導体デバイス検査装置(NGR-2100 Series)
- (3) NDAS データベースサーバ
- (4) NDAS プレゼンテーションサーバ

2-2 組み込みソフトウェア NDAS の説明

- (1) NDAS の操作画面の基本コンセプト
- (2) グラフ
- (3) GDS 画面
- (4) データベースの仕様
- (5) 解析機能の一覧

2-3 サブテーマ①現状の欠陥データ解析方法の分析

2-3-1 研究内容

2-3-2 成果

2-4 サブテーマ②大容量欠陥情報データベース、欠陥データ解析方法の確立機能、レポート作成機能の実装

2-4-1 研究内容

2-4-2 成果

(1) NDAS

(2) オーバーレイ検査方法

(3) ダイ・ツー・ダイ方式ウェーハ検査方法

2-5 サブテーマ③疑似欠陥認識機能の開発

2-5-1 研究内容

2-5-2 成果

(1) 疑似欠陥の発生を防止する機能

(2) 欠陥の近傍の多角形の相違度を使った欠陥分類方法

2-6 専門用語解説

(1) DFM (Design for Manufacturability)

(2) OPC (Optical Proximity Correction : 光学近接効果補正)

(3) CD-SEM (Critical Dimension)-(Scanning Electron Microscope 走査型電子顕微鏡)

(4) レビューSEM (Scanning Electron Microscope 走査型電子顕微鏡)

(5) ダイ・ツー・ダイ方式

(6) ダイ・ツー・データベース方式

(7) PWQ(Process Window Qualification)

(8) 当社固有の用語

最終章 全体総括

最終章-1 複数年の研究開発成果

最終章-2 研究開発後の課題・事業化展開

(1) 競合メーカ

(2) 動向

(3) 課題

(4) 本製品の強み

(5) 事業化

(6) 新技術の用途

第1章 研究開発の概要

1-1 研究開発の背景・研究目的及び目標

(1) 研究開発の背景

○従来技術の前に確立した技術

90nm以下の線幅の半導体デバイスの時代から、超解像度技術が多用されるようになったので、システムティック欠陥の検出が必須になった。特に、新規半導体デバイスの立ち上げでは重要である。図1は、新規半導体デバイスの立ち上げにおけるOPCパターンの変更フローを示す模式図である。OPCパターンとは、超解像度技術で付加されるパターンである。OPCパターン変更をくり返して、新規半導体デバイスを立ち上げる。OPCパターンは微細化が進むと、種類が増え形状も複雑化する。超解像度技術を実現するためには、システムティック欠陥の検出が重要である。

システムティック欠陥は、プロセス条件の変動に影響を受け易い場合が多い。その性質を使って、システムティック欠陥を検出している。この方法によると、トライアンドエラーによる繰り返し作業に、検査時間に30日、人的解析作業に30日が必要とされ新規半導体デバイスの立ち上げに膨大な時間が必要であった。

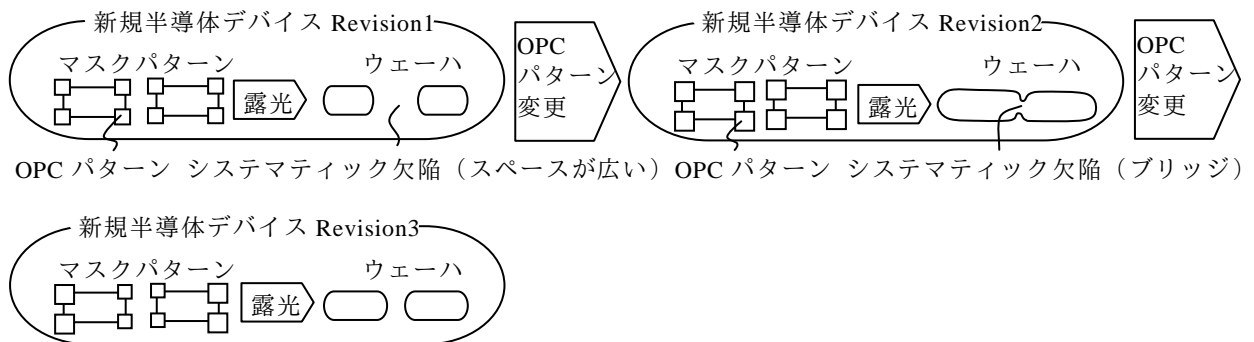


図1 新規半導体デバイスの立ち上げ

○従来技術

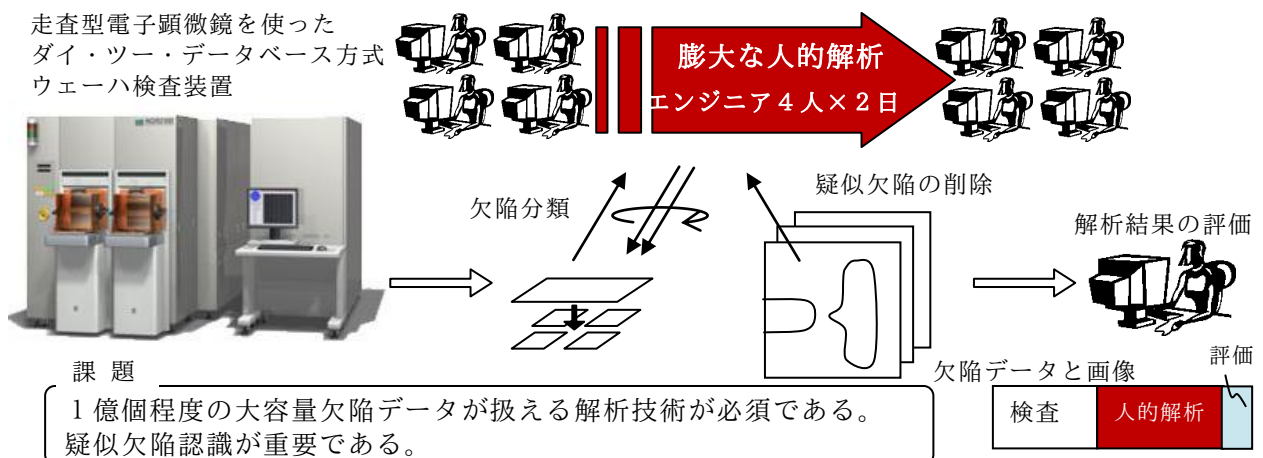


図2 従来技術

この課題に対して、研究実施機関である株式会社NGRは、世界で初めて走査型電子顕微鏡を使ったダイ・ツー・データベース方式ウェーハ検査装置を開発し、日本、韓国、台湾の最先端半導体デバイス製造メーカーに納入した。図2は、従来技術（走査型電子顕微鏡から得られた画像と設計データを比較して、システムティック欠陥を直接検出する技術）を示す模式図である。

この半導体デバイス検査装置は、走査型電子顕微鏡から得られる半導体デバイスの画像と設計データを比較してシステムティック欠陥を直接検出する装置である。この装置によれば、前述の新規半導体デバイスの立ち上げに必要な膨大な時間を大幅に減らす効果があるが、新たな課題が発生してきた。

(i) 1億個程度の大容量欠陥データを扱える解析技術が必須である。

欠陥データの管理、欠陥データの分類、レポート作成の各機能を高速に自動処理する解析ソフトウェアが必要である。

(ii) 疑似欠陥認識が重要である。

疑似欠陥の発生が多い。半導体デバイスに形成されたパターンと設計データは必ずしも正確に一致する必要はない。例えば、メモリセルから周辺回路への配線パターンは露光条件により設計データから大きく乖離して形成されても半導体デバイスとして正常に動作することがある。この配線パターンは、メモリセルに比べてパターン幅もスペース幅も広いのでショートやオープンが発生しない程度の変形は許されるからである。現時点では、このような欠陥を「設計データから大きく乖離しているが、半導体デバイスの動作に影響しない欠陥」と分類できていないので、煩瑣な分類作業が発生している。また、一つの原因でシステムティック欠陥が、半導体デバイスに一万個以上の箇所が発生することがある。このようなシステムティック欠陥の分類にも、煩瑣な人的解析作業が発生している。

○現在の課題への人的解析作業による対応

これらの課題を解決するために人的解析作業を人海戦術的に実施することにより、メモリ製造の試作開発ラインの要求を満たせるようになってきた。一台の検査装置による1つのダイの検査時間が2日程度で、前記の人的解析作業による欠陥データの解析が4人のエンジニアにより2日程度かけて実施されている。この人的解析作業の解消が、半導体デバイス製造の製造ラインでの展開の点において極めて深刻な課題となっている。

(2) 研究目的及び目標

本研究開発の目的は、新規半導体デバイスの早期立ち上げに不可欠な1億個程度のシステムティック欠陥データの人的解析を自動化する大容量データベースを中核とした見える化機能と、人的解析では不可能な高度解析機能を実装したソフトウェアを検査装置に組み込み、検査装置の飛躍的普及を図ることである。この方法の確立により、従来技術で要していた2日間の人的解析を短縮して、1日あたり1億円の機会損失を大幅に削減する。図3は、本研究で実現させる新技術（大容量欠陥データの解析ソフトウェアの組み込み技術）を示す模式図である。

研究の目標として、半導体デバイスの高品質・短納期・低コスト等の要請に対応し、1億個程度のシステムティック欠陥データの解析を自動化して、半導体デバイス1個あたりエンジニア4人による2日程度の人的解析作業を1/20の2時間以下にし、かつエンジニア1人で解析可能にする。最終的には、今後の検査装置のスループット向上により検査時間・解析時間の合計を12時間以下にすることを目標とする。また、疑似欠陥認識率を、新規デバイスでは70%

以上に、レシピ調整後では99%以上にすることを目標とする。

これらの目標を達成するための基盤となるソフトウェアを、NDAS(NGR Data Analysis System)と呼ぶ。

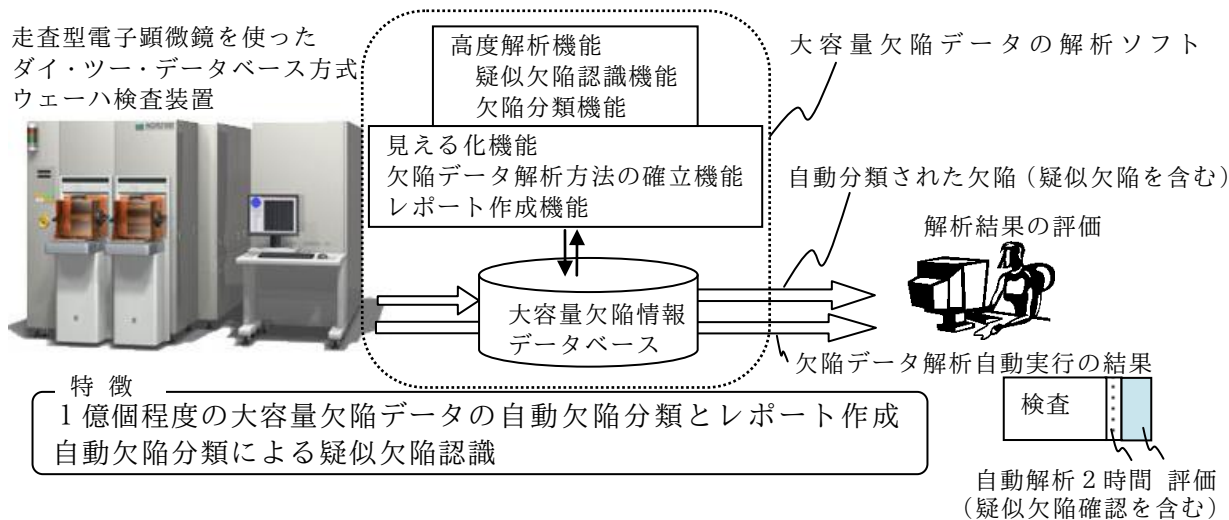
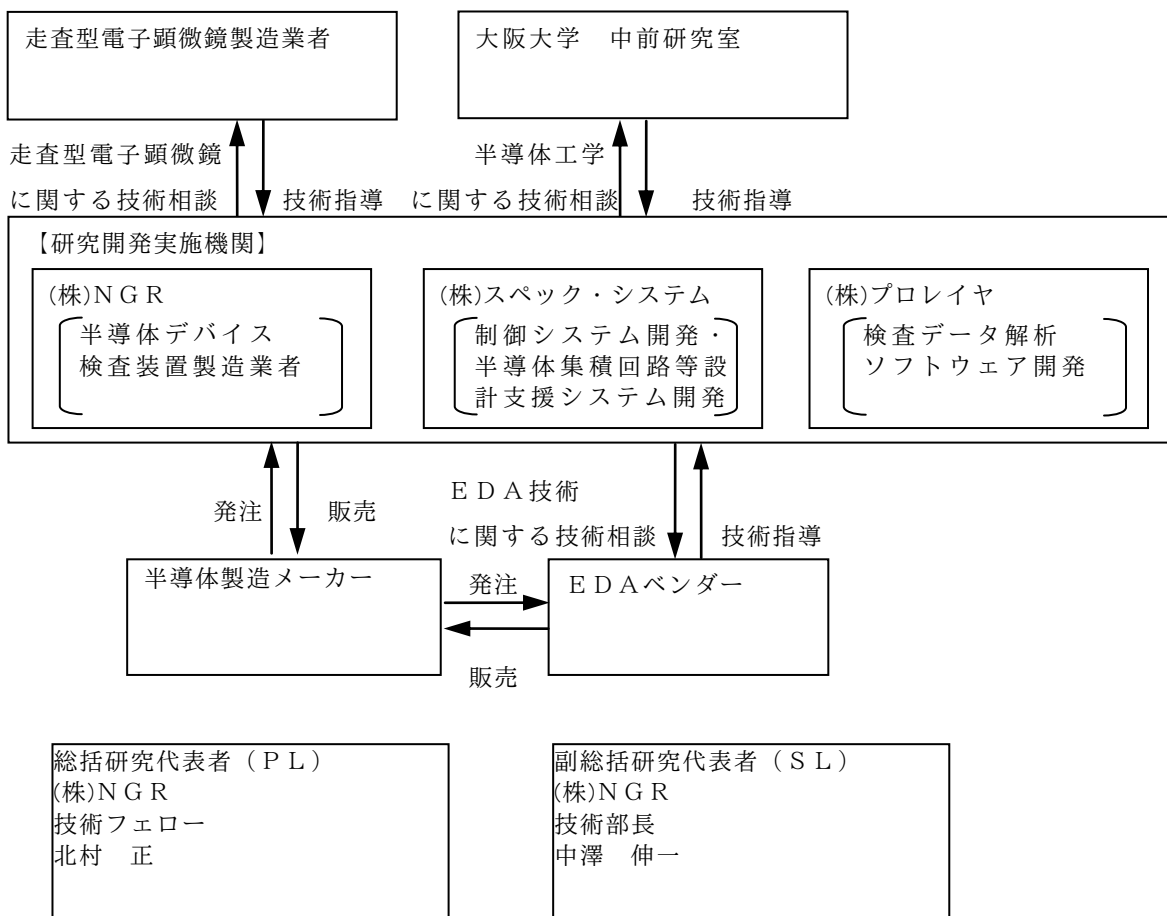


図3 新技術

1-2 研究体制

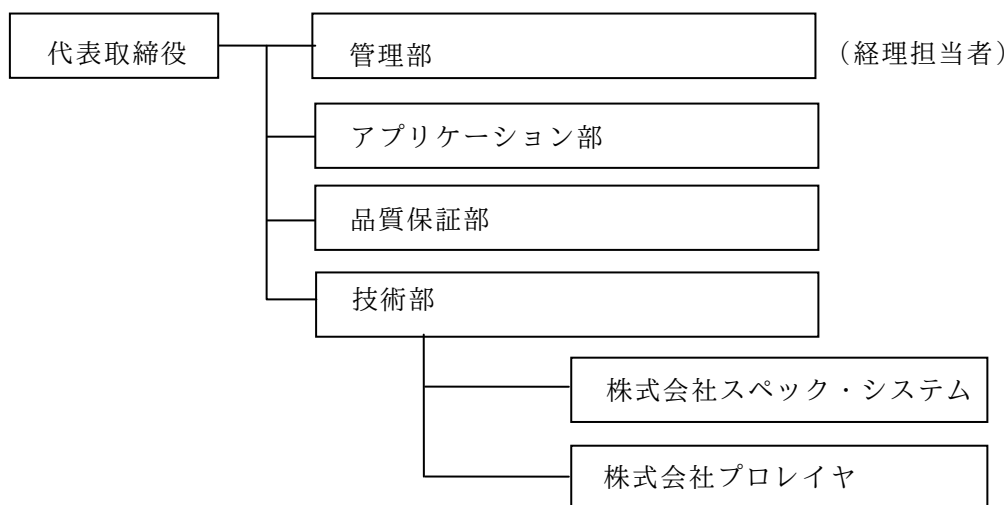
(1) 研究組織（全体）



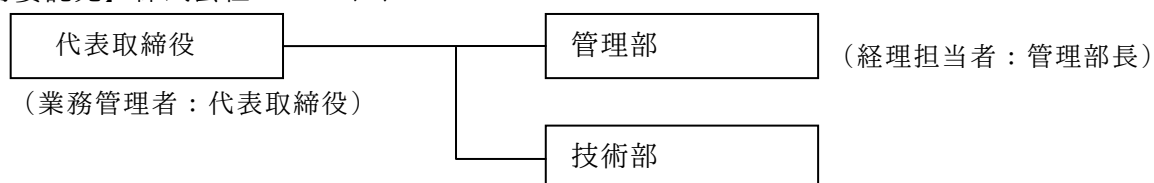
(2) 管理体制

【事業管理機関】株式会社NGR

(業務管理者：代表取締役 山本 昌宏)



【再委託先】株式会社プロレイヤ



(3) 研究員

【事業管理機関】株式会社NGR

氏名	所属・役職	実施内容 (番号)
北村 正	技術フェロー	①②③
中澤 伸一	技術部長	①②③
蘭部 五郎	技術部 ソフトウェアエンジニア	①②③

【再委託先】株式会社プロレイヤ

氏名	所属・役職	実施内容 (番号)
大岡 正朋	技術部システムエンジニア	①②③

(4) 経理担当者及び業務管理者の所属、氏名

【事業管理機関】株式会社NGR

氏名	所属・役職	実施内容 (番号)
山本 昌宏	代表取締役	④
栗林 直樹	管理部長	④

【再委託先】株式会社プロレイヤ

(経理担当者) 管理部 管理部長

森田 浩之

(業務管理者) 代表取締役

森田 浩之

(5) 所在地

【事業管理機関】株式会社NGR

〒226-0006 神奈川県横浜市緑区白山 1-18-2 GIP 307

【再委託先】株式会社プロレイヤ

〒271-0091 千葉県松戸市本町 25-4 第2石井ビル 401

1-3 成果概要

(1) サブテーマ①現状の欠陥データ解析方法の分析

23年度、24年度に、現在実施されている欠陥データ解析方法の分析は終了できた。

メモリとロジックそれぞれの欠陥データ解析方法を分析し、データベースのキーとすべき項目の整理、欠陥データの要約・レポート作成方法の整理を実施し、効率的なデータベースの構築方法、欠陥データの解析方法を確立した。

(2) サブテーマ②大容量欠陥情報データベース、欠陥データ解析方法の確立機能、レポート作成機能の実装

○NDAS

目標値(解析時間を現状の1/20以下)を達成できた。下表に、300万件データの処理時間を示す。各目標値の合計110秒(85秒+25秒)は、1件あたり37 μ secである。当初の1億件データの処理時間の目標値2時間の場合は、1件あたり72 μ secであり当初の処理時間の目標値を越えることができた。これから、ユーザの要求を満足する処理速度が達成できた。

	目標値	測定値
欠陥分類	85 秒	51 秒
レポート作成	25 秒	21 秒

欠陥分類に要する時間とは、欠陥を3つのカテゴリに分けて、Sample Listを表示時間する時間を意味する。また、レポート作成に要する時間とは、欠陥を3つのカテゴリに分けて、Histogramを表示する時間を意味する。

柔軟に半導体デバイス製造業者のニーズに合わせるようにソフトウェア本体の設計をし、大容量欠陥情報データベース、カテゴリを設定する機能、要約機能、レポート作成機能などの欠陥データ解析方法の確立機能の基礎を実装した。

半導体デバイス製造業者のCGV解析方法、RDI解析方法、PWQ解析方法、CDU改善機能の評価と最適化をした。

○オーバーレイ検査方法

新しい検査方法として、二重露光やレイヤ間のオーバーレイ評価のために、オーバーレイ測定方法を本体ソフトで実現した。

○ダイ・ツー・ダイ方式ウェーハ検査方法

ダイ・ツー・ダイ方式ウェーハ検査方法、セル・トゥ・セル検査方式をユーザ先で評価して改良し実用レベルにした。

○できなかったこと

- (i) 定型的な人的解析作業の NDAS での自動化は、次年度以降に作成する予定である。
- (ii) オーバーレイ測定機能の応用機能は、次年度以降に開発する予定である。
- (iii) ダイ・トゥ・ゴールデンダイ検査方式については、ユーザ先での評価中である。
- (iv) ダイ・トゥ・ダイ方式ウェーハ検査方法を本体ソフトで実行可能にする予定である。

(3) サブテーマ③疑似欠陥認識機能の開発

疑似欠陥認識として、疑似欠陥の発生を防止する機能を作成した。これらの機能による疑似欠陥の発生低減の効果を確認した。この結果、目標値(疑似欠陥認識率70%以上)を達成した。

○欠陥の近傍の多角形の相違度を使った欠陥分類方法

欠陥の自動分類機能のオフライン評価を始めた。

○できなかったこと

- (i) 次年度以降に、最終目標値（レシピ調整後では99%）を目指す予定である。
- (ii) 「欠陥の近傍の多角形の相違度を使った欠陥分類」は、次年度以降、ユーザの評価を反映して実用化につなげる予定である。

1-4 当該研究開発の連絡窓口

会社名 : 株式会社N G R
所属 : 技術フェロー
氏名 : 北村 正 (キタムラ タダシ)
電話 : 045-507-3330
FAX : 045-507-3340
E-mail : tad.kitamura@nanogeometry.com

第2章 本論

2-1 システム構成

(1) 物理構成

図4は、NDASの物理構成を示す模式図である。

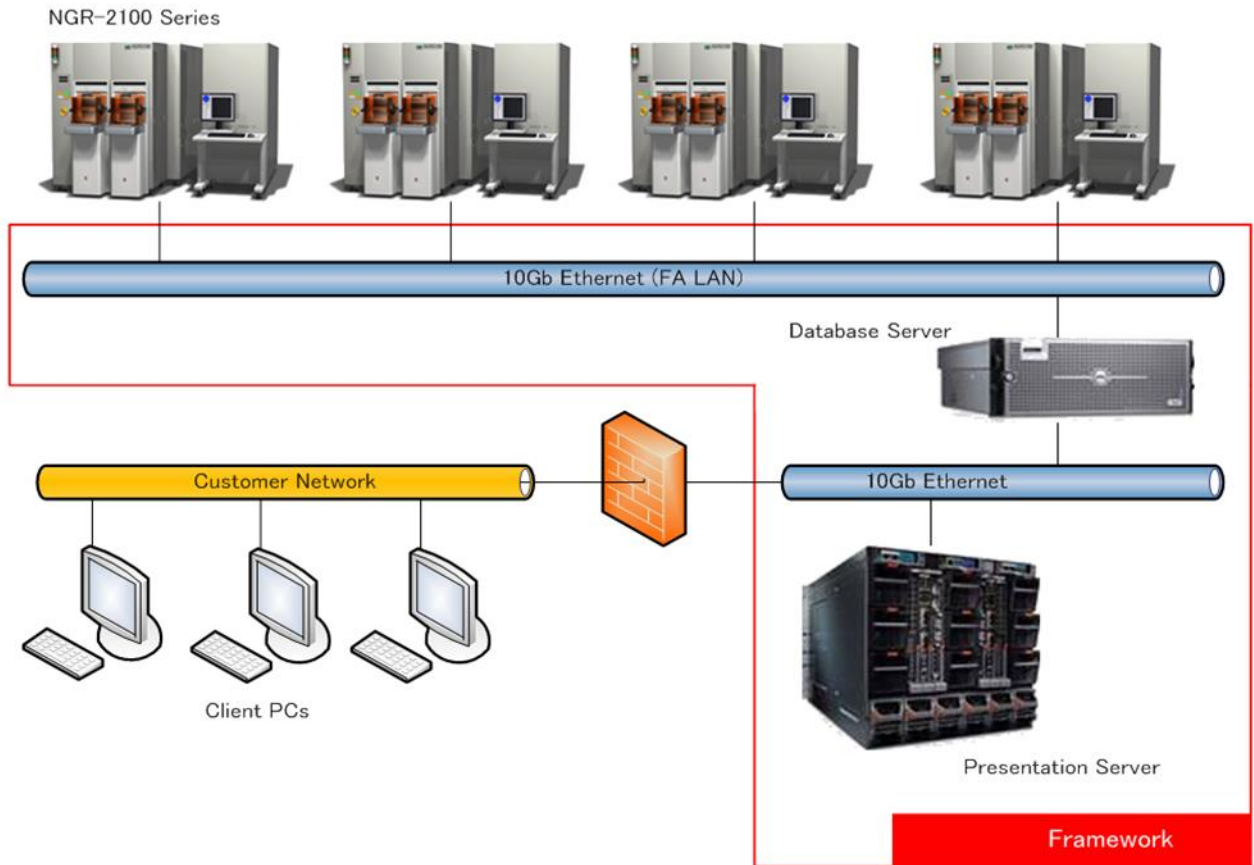


図4 NDASの物理構成

(2) 半導体デバイス検査装置(NGR-2100 Series)

図5は、半導体デバイス検査装置(NGR-2100 Series)のデータフローを示す模式図である。図6は、半導体デバイス検査装置の出力例を示す模式図である。半導体デバイス検査装置(NGR-2100 Series)は、参考文献[1]に記載の方法を具現化した検査装置であり、半導体ウェーハ上に形成されたダイの画像と設計データを使ったダイ・ツー・データベース方式の検査装置である。

半導体デバイス検査装置(NGR-2100 Series)は、SEM技術をベースにした電子画像取り込みシステム(EIAS: Electron Image Acquiring System)、半導体形状検証ソフトウェア(Geometry Verification Engine (GVE)とGUI(Graphical User Interface)で構成されている。

電子画像取り込みシステム(EIAS)の電子光学系は、大電流、高解像度、高速での二次電子像を、軸外取差のない大偏向スキャンによって取得可能である。半導体形状検証ソフトウェア(GVE)は、リアルタイムにEIAS画像と設計データの重ね合わせを行い、Sub-PixelのEdge Placementによる欠陥検査とCD(Critical Dimension)計測を行う。そして、パターン検証に最適化された各種アルゴリズムでシステムティック欠陥の検出、欠陥の自動レビューを実施する。

パターン検証の結果は設計情報に基づいて分類され、ウェーハ上のパターン検証に基づいたDFM (Design for Manufacturability)に有益な情報を提供する。

半導体デバイス検査装置(NGR-2100 Series)には、Repeated Defect Inspection (RDI) モードとCritical Geometry Verification (CGV) モードの2つのモードがある。(「2-6 専門用語解説 当社固有の用語」参照)

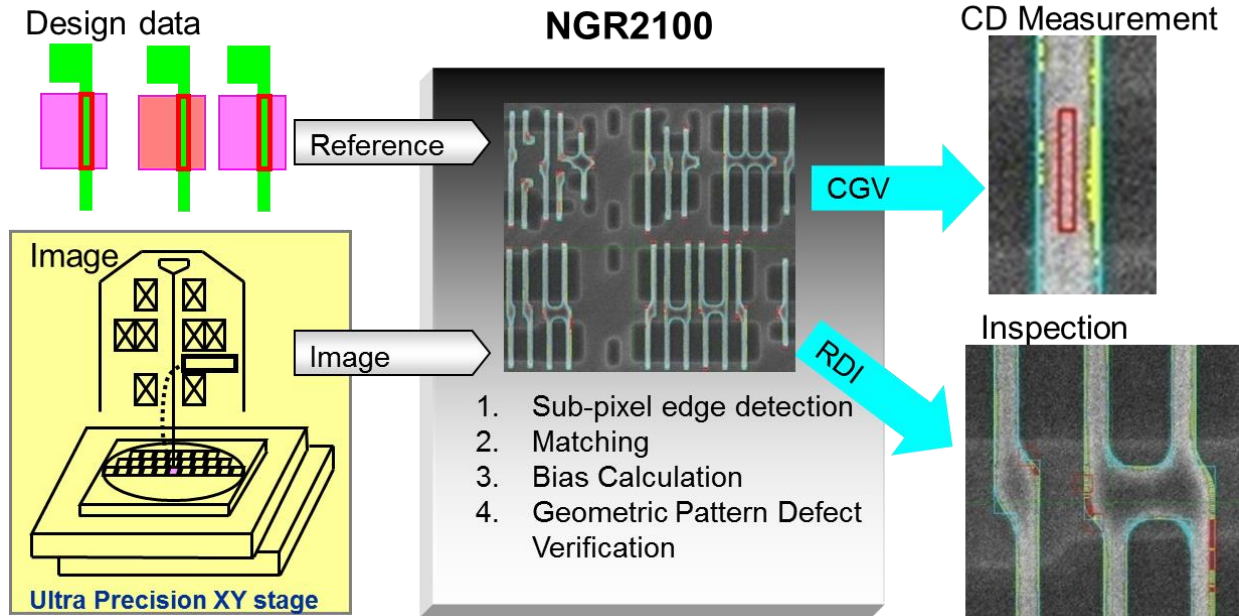


図5 半導体デバイス検査装置のデータフロー

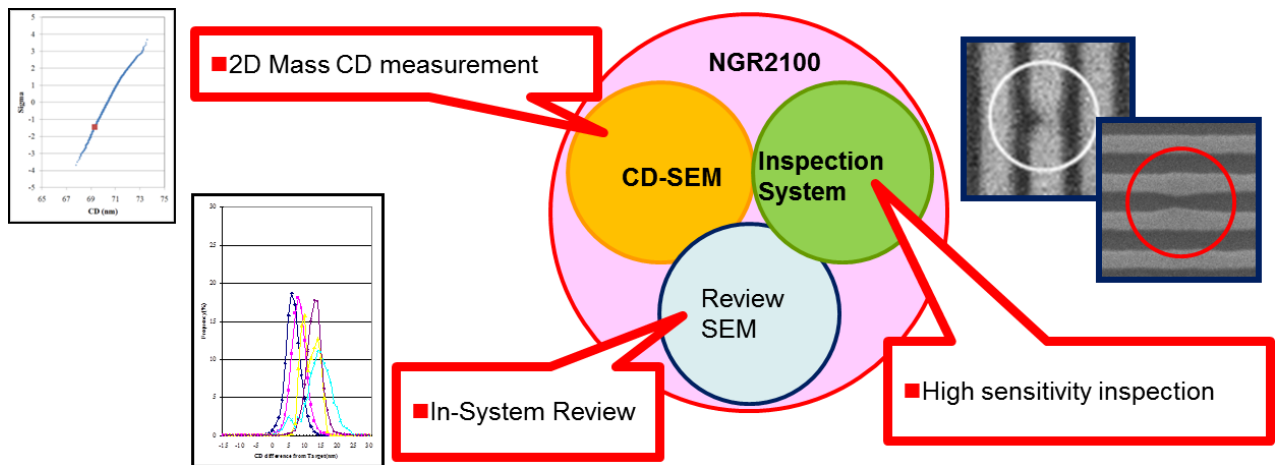


図6 半導体デバイス検査装置の出力例

(3) NDAS データベースサーバ

検査装置本体側システムが収集した検査データや蓄積されたレシピデータは、NDAS データベースサーバ内の Result、Recipe データベースに蓄積される。これらの検査結果を NDAS などの外部システムから参照するために ResultDB Manager が提供されている。

ResultDB Manager は、検査・計測結果と使用したレシピデータを取得し、検査・計測結果をデータベースへインポートする。NDAS 内に取り込んだ Recipe ファイルは、RecipeDB Manager を使ってデータベースへインポートする。

複数台検査装置を、NDAS データベースサーバが管理対象とする。

(4) NDAS プレゼンテーションサーバ

NDAS プレゼンテーションサーバは、データベースサーバに格納された検査データを基に様々な解析出力を行うことを可能とする。また、アプリケーションの仮想化技術により顧客のネットワーク上に配置されるクライアント PC 端末に対してプレゼンテーションサーバの解析操作画面を配信する。

基本構成では 5 クライアント同時処理が可能である。

プレゼンテーションサーバは、以下の機能から構成される。

1. NDAS 解析プログラム

検査結果を解析するマルチスレッドで動作するアプリケーションを提供するプログラムである。

2. 仮想化アプリケーション配信サーバ

NDAS アプリケーションを仮想化して複数のクライアント PC 端末に解析操作 GUI を提供するサーバ機能である。

3. Active Directory サーバ

Microsoft が Windows サーバの 1 機能として提供するネットワーク上に存在するサーバ、クライアント、プリンタなどのハードウェア資源や、それらを使用するユーザの属性、アクセス権などの情報を一元管理するサーバ機能である。

2-2 組み込みソフトウェア NDAS の説明

2-2-1 NDAS の基本コンセプト

(1) NDAS の操作画面の基本コンセプト

図 7 は、組み込みソフトウェア NDAS の操作画面の基本コンセプトを示す模式図である。操作画面には、Main Menu 画面（メイン画面）と、Main Menu 画面から呼ばれる複数の Workspace 画面がある。

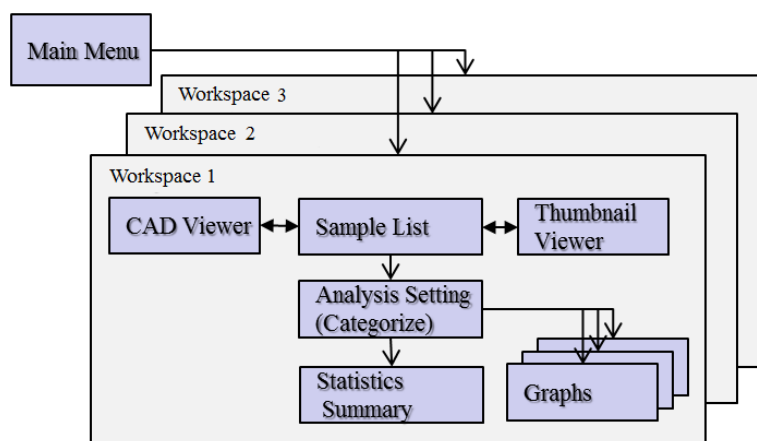


図 7 NDAS の操作画面の基本コンセプト

検査結果の分析は、Workspace 画面単位で実行される。検査データごとに Workspace 画面を呼び出すことができる。1つの検査データに対して複数の Workspace 画面を呼び出すことができる。また、「Filter Set」から Filter Set Condition 画面（フィルタセット条件画面）を呼び出し、「Filter」を使って、ユーザ定義の Filter（フィルタ）をかけて部分的な検査結果を扱うことが

できる。また、複数の検査データをマージして、Workspace 画面を呼び出すこともできる。

Workspace 画面の中心は、Sample List 画面（サンプルリスト画面）である。Sample List の内容を Defect Thumbnail 画面を使って画像表示するか、GDS 画面を使って、Sample List 内の位置の近傍の GDS を表示することができる。

Sample List は、Analysis Setting 画面（分析条件画面）の「Category Setting」を使って、Category（カテゴリ）分けが出来て、Category ごとに統計量の表示、グラフ表示ができる。

また、Calculation Condition 画面を使って、複数の検査結果の項目の計算値を使っての統計量の表示、グラフ表示が可能である。例として、Space1 と Design Width を使って、 $Duty1=(Space1)/(Design Width)$ を設定して、Duty1 を使ったカテゴリが使用出来る。

Filter は Filter 画面で入力し、Category は Analysis Setting 画面から呼ばれる Category Input 画面で入力し、Calculation は Calculation 画面で入力する。Filter、Category、Calculation を 1 組にして、FilterSave 画面（フィルタセット保存画面）で、Filter Set として保存することができる。保存された Filter、Category、Calculation は、Filter Set Condition 画面を使って呼び出すことが出来る。

Filter（フィルタ）機能とは、Sample List 画面に表示される検査結果の項目に設定値もしくは範囲を設定して、設定された設定値を持つ項目もしくは範囲内の項目に対応する検査結果を選別する機能である。

Category（カテゴリ）とは、Sample List 画面に表示される検査結果の項目に設定値もしくは範囲を設定して、設定された設定値を持つ項目もしくは範囲内の項目に対応する検査結果の区分である。

○OS: Microsoft Windows Server 2008 R2 複数のクライアント PC に GUI を提供	
○DB: Microsoft SQL Server 2008 検査・計測結果をリアルタイムにリレーショナルデータベースへ蓄積、減量式に基づきデータベースから解析対象となる母集団の抽出および分類	
○Tool: Wolfram Research Mathematica 8 グラフによる情報の可視化、レポート出力	
○パフォーマンス要件	
(1) 応答時間：3～600sec	(2) データ量：1～1TB
(3) データ転送速度：1～3Gbps	(4) 処理量：1.5MB/Sec
(5) 処理率：100%	(6) ユーザ数：最大 5 ユーザ
○入力データ	
検査・測定設定パラメータ 検査・測定結果 CAD ファイル（GDS）検査結果用補正データ	
○出力	
テキストファイル：CSV, HTML 画像ファイル：PNG レポートファイル：PDF	

表 1 データベースの仕様

(2) グラフ

Analysis Setting 画面で入力した設定を元に Sample List 画面で抽出したデータをグラフで表示する。Graph の種類は、以下である。

Histogram、Plot、Contour Plot、Density Plot、Accumulative、Normal Probability、Trend Chart

(3) GDS 画面

GDS 画像を表示する。GDS 画像上には Sample List 画面に表示中の欠陥も表示される。大規模データに対応した GDS 表示機能は、従来の技術には存在しない機能である。

(4) データベースの仕様

表 1 に、データベースの仕様を記載する。

(5) 解析機能の一覧

CGV 計測結果解析、RDI 検査結果解析、PWQ 解析

(後述の「2-6 専門用語解説 (8) 当社固有の用語」参照)

2-2-2 本年度作成機能

本年度は、パフォーマンスの向上と追加・改善機能を作成した。下表に、300 万件データの処理時間を示す。各目標値の合計 110 秒(85 秒+25 秒)は、1 件あたり 37 μ sec である。当初の 1 億件データの処理時間の目標値 2 時間の場合は、1 件あたり 72 μ sec であり当初の処理時間の目標値を越えることができた。これから、ユーザの要求を満足する処理速度が達成できた。

	目標値	測定値
欠陥分類	85 秒	51 秒
レポート作成	25 秒	21 秒

表 2 NDAS のパフォーマンス

2-3 サブテーマ①現状の欠陥データ解析方法の分析

2-3-1 研究内容

現状の欠陥データ解析方法を分析し、効率的なデータベースの構築方法、欠陥データの解析方法に反映する。具体的には、メモリとロジックそれぞれの欠陥データ解析方法を分析し、データベースのキーとすべき項目の整理、欠陥データの要約・レポート作成方法の整理を実施する。また、欠陥データ処理の負荷から実現不可能であった方法の具現化や、異なる欠陥データ解析手法の統合による解析手法の高度化、欠陥周辺の設計データの情報と画像情報を組み合わせて使用する独自の手法の基盤技術を確立する。

2-3-2 成果

23 年度、24 年度に、現在実施されている欠陥データ解析方法の分析は終了できた。

メモリとロジックそれぞれの欠陥データ解析方法を分析し、データベースのキーとすべき項目の整理、欠陥データの要約・レポート作成方法の整理を実施し、効率的なデータベースの構築方法、欠陥データの解析方法を確立した。

半導体デバイス製造業者の CGV 解析方法、RDI 解析方法、PWQ 解析方法、CDU 改善機能に対応した。前記以外で作成した検査機能を、以下に示す。

- ・PWQ での Hole 検査機能
- ・2D 測定機能
 - 輪郭間最短距離
 - 任意方向の長方形の線幅の測定
- ・Grid による測定領域設定機能
- ・CDU 改善機能

2-4 サブテーマ②大容量欠陥情報データベース、欠陥データ解析方法の確立機能、レポート作成機能の実装

2-4-1 研究内容

見える化機能として、大容量欠陥情報データベース、欠陥データ解析方法の確立機能、レポート作成機能を作成する。大容量欠陥情報データベースは、データベースのキーとすべき項目の整理結果を使用したデータ構造を実装する。また欠陥データ解析方法の確立機能として、欠陥データ分類用のカテゴリを設定する機能、抽出されたデータから多変量解析などの統計手法を使って統計量を得る要約機能を実装する。更に可視的に理解することができる欠陥データのレポート作成機能を実装する。

最終的な高度化目標として、定型的な人的解析作業を、欠陥データ解析自動実行機能へ置換することで、解析時間を現状の 1/20 以下の時間に短縮する。

2-4-2 成果

(1) NDAS

前述の「2-2 組み込みソフトウェア NDAS の説明」を参照

○基本機能は完成したが、定型的な人的解析作業の NDAS での自動化は、次年度以降に作成する予定である。

(2) オーバーレイ検査方法

新しい検査方法として、二重露光やレイヤ間のオーバーレイ評価のために、オーバーレイ測定方法を本体ソフトで実現した。

オーバーレイ測定とは、検査時の工程で形成された検査対象パターンと検査時の工程の前の工程で形成された検査対象パターンとの間の相対距離を測定して工程間のパターンの位置ずれを測定する検査方法である。

○オーバーレイ測定機能の応用機能は、次年度以降に開発する予定である。

(3) ダイ・ツー・ダイ方式ウェーハ検査方法

現有のダイ・ツー・データベース方式ウェーハ検査方法と組み合わせて使用する独自の欠陥データ解析機能で使われるダイ・ツー・ダイ方式ウェーハ検査方法を作成中である。

○欠陥検出の手順

図 8 は、ダイ・ツー・ダイ方式ウェーハ検査手順を示している。図 8 を使って、欠陥検出の手順を以下のステップで説明する。

(i)ダイ・ツー・ダイ方式ウェーハ検査方法では、検査対象画像を検査するために、リファレンス画像 1 とリファレンス画像 2 を使用する。

(ii)検査対象画像、リファレンス画像 1 とリファレンス画像 2 に、メディアンフィルタとスムージングフィルタでノイズ除去をする。

(iii)検査対象画像とリファレンス画像 1 とをマッチングする。

(iv)検査対象画像の画素の値（輝度）に近くなるようにリファレンス画像 1 の画素の値（輝度）を補正する。

検査対象画像 リファレンス画像1 リファレンス画像2

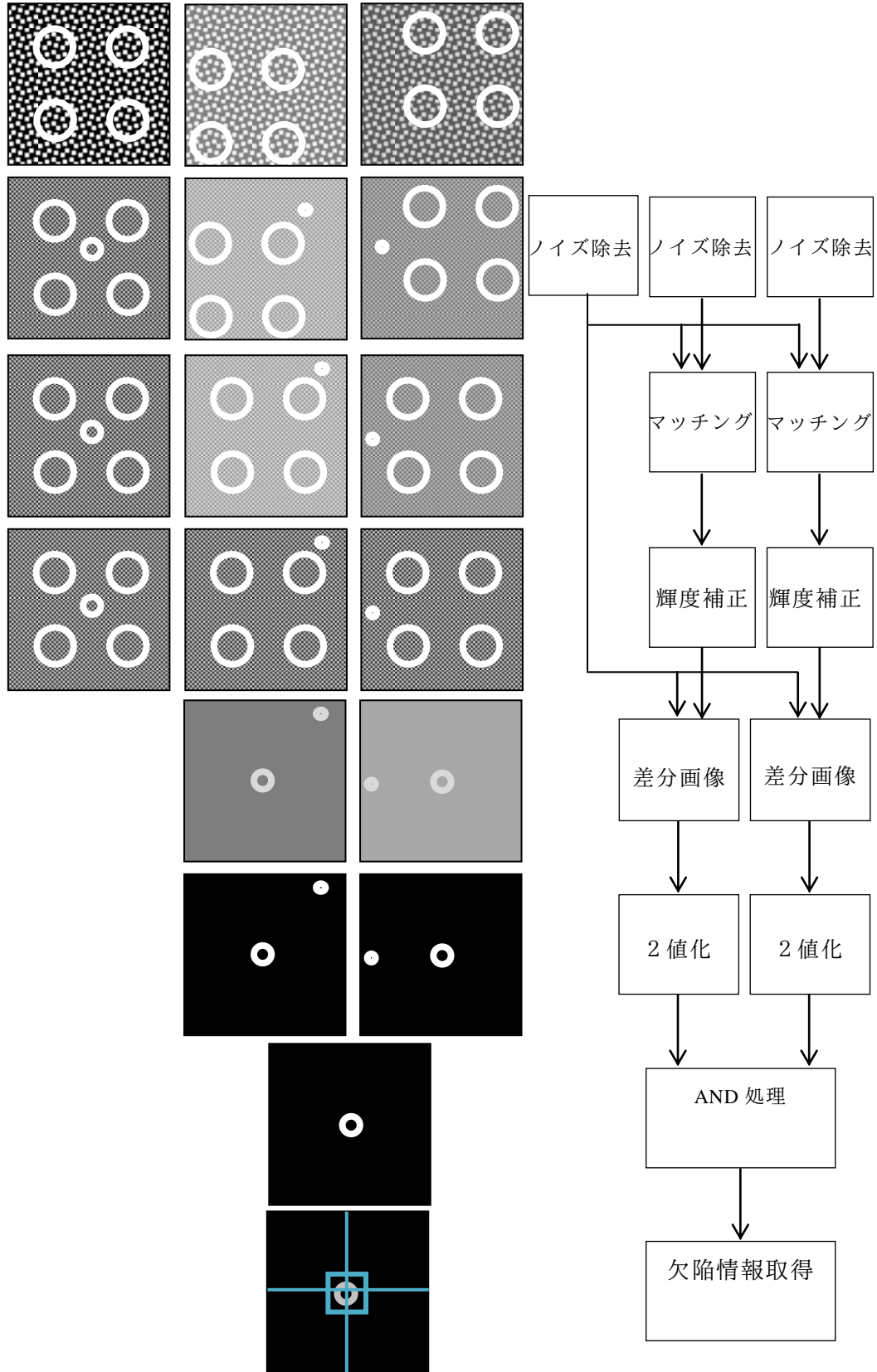


図8 ダイ・ツー・ダイ方式ウェーハ検査手順

(v)検査対象画像とリファレンス画像1との差分画像を得る。

(vi)差分画像を2値化して欠陥ビットマップを作成する。

(vii)前記のステップ(iii)から(vii)をリファレンス画像1の代わりに、リファレンス画像2を使用して実施する。

(viii)前記のステップ(vi)と(vii)で得られた欠陥ビットマップのAND処理をする。

前記のステップ(vi)と(vii)で得られた欠陥ビットマップには、ノイズ・ゴミ等に起因する疑似欠陥が存在しているが、AND処理によってほぼ全ての疑似欠陥が除去されている。

(ix)AND処理された欠陥ビットマップから欠陥の位置、大きさ等の欠陥情報を取得する。

○ダイ・ツー・ダイ方式ウェーハ検査方法、セル・トゥ・セル検査方法をユーザ先で評価して改良し実用レベルにしたが、ダイ・トゥ・ゴールデンダイ検査方式については、ユーザ先での評価中である。また、ダイ・トゥ・ダイ方式ウェーハ検査方法を本体ソフトで実行可能にする予定である。

2-5-2 成果

(3) サブテーマ③疑似欠陥認識機能の開発

(1) 疑似欠陥の発生を防止する機能

疑似欠対策として、疑似欠陥の発生を防止する11の機能を作成した。以下に機能の例を示す。

- ・欠陥分類クラスの入力
- ・マッチング半ピッチずれ判定機能
- ・CAD Alignment 新規マッチングアルゴリズム

これらの機能による疑似欠陥の発生低減の効果を確認した。この結果、目標値(疑似欠陥認識率70%以上)を達成した。

○これ以外の機能については、次年度以降に作成し、最終目標値(レシピ調整後では99%)を目指す予定である。

(2) 欠陥の近傍の多角形の相違度を使った欠陥分類方法

設計データを使って欠陥を分類し、疑似欠陥を集約する機能を実現する方法である。集約された疑似欠陥を一括削除することにより、解析効率の向上を図る。

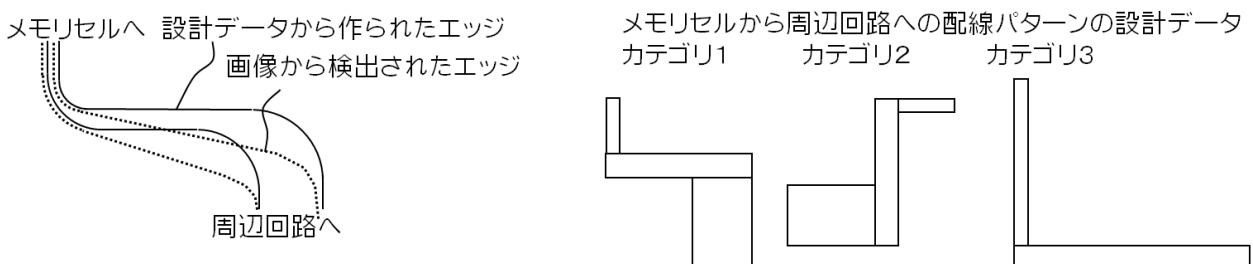


図9 配線パターン

図9は、メモリセルから周辺回路への配線パターンの例を示す模式図である。図9の左側には、設計データから作られたエッジと画像から検出されたエッジが示されている。このように、微細なパターンであるメモリセルから大きなパターンである周辺回路への配線パターンへのパターンは大きく変形することが多い。このような変形を無視するために特定の配線パターンに発生した欠陥を無視する必要がある。このような場合は、図9の右側に示すように欠陥の近傍の多角形の相違度を使った欠陥分類により配線をカテゴリ1から3に分類する。必要に応じて

特定のカテゴリに属する欠陥を疑似欠陥として削除する。

図 1 0 は、欠陥の近傍の多角形の相違度を使った欠陥分類方法を示す模式図である。

(i)準備（全ての欠陥に対する処理）

欠陥の近傍の設計データをクリップしてから、欠陥分類に適した多角形の形式に変換する。

(ii)頂点のマッチングと相違度計算（全ての欠陥と欠陥の組に対する処理）

一方の欠陥に属する多角形 D_1 の頂点に対応すると思われる他方の欠陥に属する多角形 D_2 の頂点をマッチングする。事前に頂点の属性（右上のコーナなど）を使って選別をする。

多角形 D_1 の頂点から多角形 D_2 の辺への距離を相違度として計算する。同様に、多角形 D_2 の頂点から多角形 D_1 の辺への距離を相違度として計算する。得られた相違度の中で最も大きい相違度を求める相違度とする。

(iii)多角形のクラスター化（全ての欠陥と欠陥の組に対する処理）

類似度を使ってデンドログラムを得る。クラスターの数もしくは、許容相違度を使ってクラスターの数を制御する。

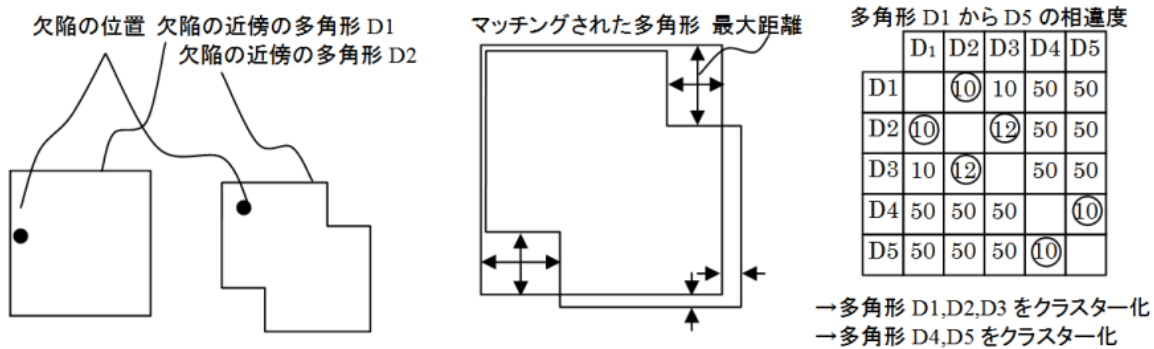


図 1 0 欠陥の近傍の多角形の相違度を使った欠陥分類方法

○本年度は、評価用のソフトウェアを作成し、オフライン評価を始めた。次年度以降、ユーザの評価を反映して実用化につなげる予定である。

2-6 専門用語解説

(1) DFM (Design for Manufacturability)

LSI の製造技術に起因するさまざまな問題を設計段階で解決することを狙った技術のこと。製造時の特性や寸法のバラつきを正確に予測しながら LSI を設計することで、生産歩留まりや LSI の性能を向上させる。DFM に注目が集まるようになってきているのは製造技術の微細化が 90nm 世代やさらにその先に進んだことが背景にある。まず 90nm 世代でトランジスタや配線の特性バラつきが顕在化し、65nm 世代からは CMP (chemical-mechanical polishing) や露光工程での製造バラつき、チップ上での温度バラつきなどが問題になり始める。製造バラつきの問題は今後 65nm, 45nm, 32nm と微細化を進めることでさらに拡大していく。

(2) OPC (Optical Proximity Correction : 光学近接効果補正)

パターンの微細化に伴い、複数パターンの近接によって転写されたパターン形状が変化してしまう近接効果が顕著になるため、レチクル上に微細な補正パターンをいれることによって転写

パターン形状をコントロールする技術。

【システムティック欠陥】半導体デバイスのウェーハのショットもしくはダイ毎に繰り返して発生する欠陥。マスク上の欠陥、OPC 起因の欠陥、プロセス起因の欠陥、デザイン不良による欠陥などがある。

(3) CD-SEM (Critical Dimension)-(Scanning Electron Microscope 走査型電子顕微鏡)

SEM の持つ、観察、分析、測長などの機能の内、測長機能に特化して作り上げられた装置。とくに半導体（主に LSI）の製造ラインでプロセスの寸法管理に用いられ、数百から数十 nm 幅のパターン幅の自動測定を行う。非導電性試料を扱うことになるので 1kV 以下の低加速電圧が使われるが、これにより試料の損傷も防いでいる。パターンのエッジを自動的に検出して測定を行うが、測定精度を上げるために、標準マイクロスケールといった倍率標準試料を用いて校正を行う。

(4) レビューSEM (Scanning Electron Microscope 走査型電子顕微鏡)

半導体製造ラインなどで生じた各種欠陥のレビューや分類を行う SEM。光学式の欠陥検査装置とリンクすることで、ウェーハ表面の欠陥を効率よく自動的に検出し、微小欠陥、異物の形状をより詳しく観察できる。

(5) ダイ・ツー・ダイ方式

半導体ウェーハ上に形成された隣り合うダイ（半導体デバイス）の同一箇所画像をマッチングして画像の差分を取得し、取得された画像の差分から欠陥を検出する手法。

(6) ダイ・ツー・データベース方式

ダイ・ツー・ダイ方式と並ぶ半導体の検査方法の一つである。ウェーハのダイ・ツー・データベース方式は、半導体ウェーハ上に形成されたダイの画像から得られたエッジと設計データから得られたエッジとをマッチングして対応するエッジ間の距離から欠陥を検出する手法。なお、マスクのダイ・ツー・データベース方式は、マスクデータから作成された画像とマスクの光学像とを比較して欠陥を検出する。

(7) PWQ(Process Window Qualification)

正常に半導体デバイスが製造できるステッパのフォーカス条件、照射線量条件の領域であるプロセスウインドを求める方法である。

FEM*ウェーハ上の危険箇所が正常に製造されたショットが持つフォーカス条件、照射線量条件を求める。RDI で危険箇所を求め、CGV でパターンが正常であるか判断する。図 3 0 PWQ のウェーハマップ上の ■▲+ で示した箇所は、パターンが正常に形成されていることを示している。これらの 3 箇所のパターンが正常に形成されているショットが水色でパッチングされている。ハッチングされたショットに対応するステッパのフォーカス条件、照射線量条件の領域をプロセスウインドとして求める。

*Focus Exposure Matrix ウェーハ（横方向にフォーカス条件を連続的に変化させ、縦方向に照射線量条件を連続的に変化させた露光によって製造された半導体デバイスがマトリックス状になったウェーハ）

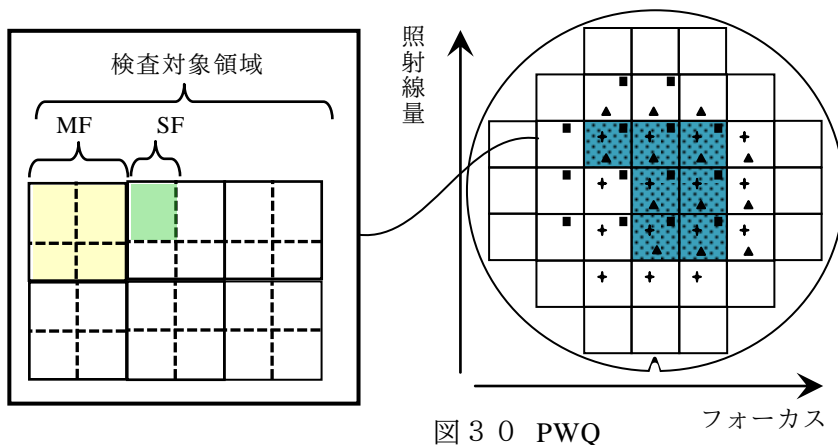


図 3 0 PWQ

(8) 当社固有の用語

○検査対象領域

検査対象とするダイ/ショット上の領域である。RDIモードの検査では、ダイもしくはショット全面を領域にすべきであるが、検査時間を短縮するために、指定された領域のみを領域にすることがある。CGVの検査では、CDエラーの計測値の分布の対象に応じて、領域を指定する。例えば、ショット内のCDエラーの計測値の分布を対象にする場合は、ダイ上に小さな領域を、指定した間隔ごとに配置したショット上の領域を指定する。

○MF(Main Field)

検査対象領域をFOV*で分割した領域である。(*Field Of View 視野)

○SF(Sub Field)

MFを画像処理単位で分割した領域である。

○RDI(Repeated Defect Inspection)モード

ダイ/ショット全面あるいは大きなエリアでウェーハに転写されたパターンをレイアウトデータと比較し、OPCやマスク起因のシステムティック欠陥を検出する検査モードである。

○CGV(Critical Geometry Verification)モード

ゲートのCDなどを高精度に計測するために高分解能で計測する計測モードである。高分解能であるために、ダイ/ショット全面ではなくエリアを絞った計測を行う。一般的なFOV(Field of View 視野)として一辺が $24\mu\text{m}$ の正方形内の計測を行うため、高分解能でありながらCD SEMより大量の測定値を取得することができる。得られた測定値からダイ/ショット/ウェーハ内のCDエラーの計測値の分布が得られる。

最終章 全体総括

最終章－1 複数年の研究開発成果

前述の「1－3 成果概要」参照

最終章－2 研究開発後の課題・事業化展開

(1) 競合メーカー

当社特許取得のダイ・ツウ・データベース検査方式以前の従来のダイ・ツウ・データベース検査方式を搭載した検査装置が登場した。直接競合しないが、間接的には競合すると思われる。

早期に当社特許取得のダイ・ツウ・データベース検査方式を普及させて対応する予定である。

従来のダイ・ツウ・ダイ検査方式の課題を解決した当社特許取得のダイ・ツウ・ダイ検査方式は優位であると考ええる。

(2) 動向

アジアの最先端半導体製造メーカーの動向は、サービス販売体制の活動で把握している。

最先端半導体メーカー程微細化が進んでいないメーカーとも商談がありユーザの層が厚くなりつつある。

アメリカ・ヨーロッパの販路拡大は、次年度以降の活動で対応したい。

(3) 課題

当初予定していたが達成できなかった機能を、次年度以降に完了する予定である。該当する主な機能は以下である。

- ・疑似欠陥認識率目標値（レシピ調整後では99%以上）。
- ・欠陥データの自動解析機能
- ・より高度な解析機能、疑似欠陥認識機能、欠陥分類機能

(4) 本製品の強み

設計データと連動する大容量欠陥データの解析ソフトウェアを実現した。このようなソフトウェアは、従来技術には存在しなかった。

半導体製造メーカーとの協調によりユーザの意向を十分に反映できた。また、当初予定していた内容より、広範囲な解析機能や、ダイ・ツウ・ダイ方式などの要望にも対応可能になった。

パフォーマンス改善で実用レベルになった。

(5) 事業化

事業化の第一段階として、ユーザ要求の機能を作成し、機材を半導体製造メーカーに持ち込み、半導体製造メーカーのデータを使って評価をしてきた。来年度は、製品サンプルを出荷し、ユーザ仕様を満足させて、1台の売上げを見込んでいる。その後、販売拡大を見込んでいる。

(6) 新技術の用途

最先端反動デバイス製造の設計試作・歩留まり管理に有効である。

EUV マスク検査、ナノインプリント、MEMS などへの販売拡大をはかる予定である。