

# CD-SEMと設計データを活用した新しい計測手法の提案

Challenge to New Metrology World by CD-SEM and Design

腰原 俊介 Shunsuke Koshihara  
太田 祥広 Yoshihiro Ota

栄井 英雄 Hideo Sakai  
松岡 良一 Ryoichi Matsuoka

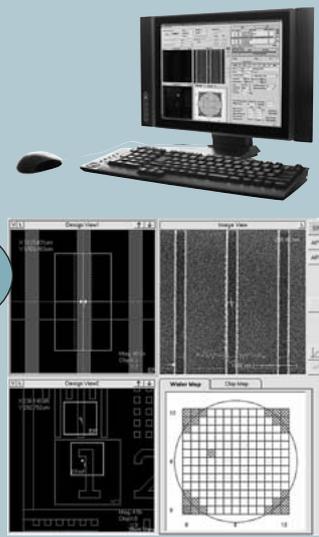
日立CD-SEM  
CG4000



DFMへの  
ベストソリューション

- 高分解能
- 高精度測長
- 高スループット

設計データ計測システム  
DesignGauge



- 設計データを利用した計測
- 設計データを利用したレシピ生成

注:略語説明 DFM( Design for Manufacturability )

図1 DFMへのベストソリューション

高分解能,高精度測長,高スループットの特長を持つ「CG4000」に代表される測長SEMと新しい計測の価値観を生み出す「DesignGauge」の組み合わせは,DFM(製造性考慮設計)へのベストソリューションと言える。

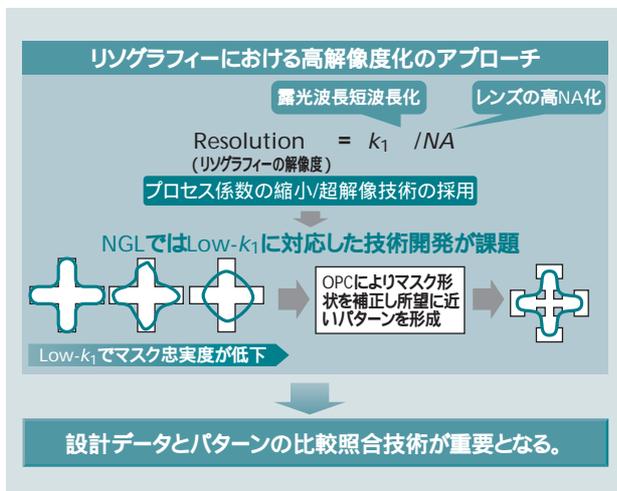
微細化のスピードがますます加速する半導体プロセスにおいて,新規プロセスをスムーズに立ち上げることは,事業の死活問題に直結するような重要なポイントになってきている。

半導体プロセスを微細化するために,さまざまな施策が講じられており,その一つにアグレッシブOPC(光近接効果補正)がある。アグレッシブOPCの補正および検証をタイムリーに行うためには,今までのルールベースOPCとは異なるデータの流れが必要になる。この新しい流れに一役買うのが,設計データ(デザインデータ)を活用する新しい計測手法である設計データ計測システム(デザインベースメトロロジーシステム)の「DesignGauge」である。さらに,「DesignGauge」を用いることにより,従来にはなかった測定法や,CD-SEM(測長走

査型電子顕微鏡)のアルゴリズムで抽出した輪郭線データを提供することが可能になる(図1参照)。

## 1.はじめに

半導体デバイスに対する市場の高速化/高集積化の要求に伴って,半導体製造プロセスは,ますます微細化している。そのような状況の中,リソグラフィプロセスにおいては,露光装置の短波長化,レンズの高NA(Numerical Aperture)化,およびLow-k(低誘電率)材の導入により,その微細化要求に対応してきた。しかし,Low-k材の導入により,マスク形状と大きく異なるパターンが形成されてしまうことが課題になってきた。この現象はOPE(Optical Proximity Effect)と呼ばれ,OPEを



注:略語説明 NA( Numerical Aperture ), NGL( Next Generation Lithography )  
OPC( Optical Proximity Correction )

図2 リソグラフィ環境の変化

Low- $k_1$ の採用でマスク忠実度が低下しOPCによる補正が行われるため、設計データとの比較が重要になる。

回避する方法としてマスクパターンに補正パターンを付加するOPC( Optical Proximity Correction )と呼ばれるテクニックを利用してきた。近年の微細化プロセスにおいては、そのOPCパターンが、重要かつ複雑になっている。それゆえに、半導体プロセスの歩留りを管理するうえでも、複雑化したOPCパターンを可視化して管理したいという要求が発生している( 図2参照 )。

一方、半導体デバイスの線幅などの計測技術は、1984年を境に、光を用いた計測から電子線を用いたCD-SEM( Critical Dimension-Scanning Electron Microscope )による計測にその主流が変化した。

それ以来、CD-SEMを用いた計測は、スループット、測定再現性の面から年々向上し、半導体デバイスメーカーの要望に応えてきた。

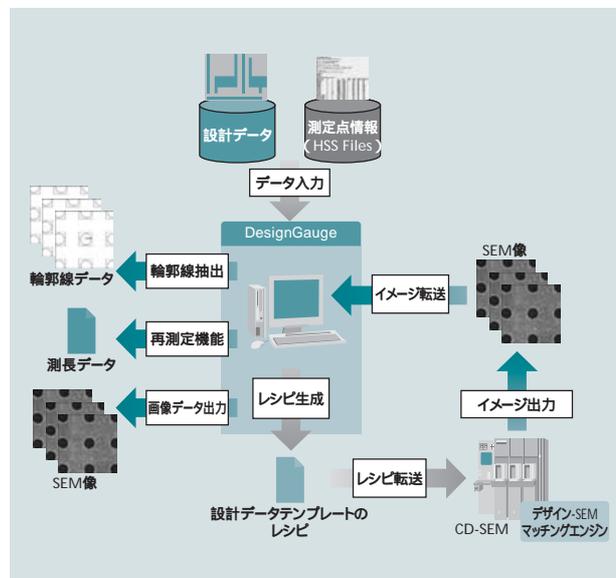
しかし、近年の「複雑化したOPCの可視化」には、従来方法での計測では限界がある。そこで、株式会社日立ハイテクノロジーズは、従来の計測法とは一線を画した、設計データ( デザインデータ )を活用した計測手法に活路を見いだし、「DesignGauge」を製品化した( 図3参照 )。

ここでは、設計データ計測システム「DesignGauge」の新しい計測手法について述べる。

## 2. ロバスト性の高いマッチングアルゴリズム

### 2.1 ファインマッチングアルゴリズム

DesignGaugeにおいては、CD-SEMで取得したSEM像と理想形状である設計データをマッチングさせるために、ファインマッチングと呼ばれる新しいマッチングアルゴリズムを開発した。ファインマッチングでは、以下のステップでマッチングを実施する( 図4参照 )。



注:略語説明 HSS( Hitachi Spread Sheet )

CD-SEM( Critical Dimension-Scanning Electron Microscope )

図3 DesignGaugeのシステム構成図

DesignGaugeはインプットファイルである設計データと、測定点情報が記述された「HSSファイル」で測定レシビを生成する。

- (1) SEM像からエッジを抽出する。
- (2) 設計データと抽出エッジを再配置する。
- (3) 最終アライメントを実施する。

ファインマッチングアルゴリズムを用いてマッチングを実施する利点としては、以下の2点が挙げられる。

- (1) SEM像と設計データの間大きな差が生じていても、マッチングの結果に影響を与えない。
- (2) 同じデザインテンプレートを異なるプロセスウェーハに適用できる。

### 2.2 ファインマッチングアルゴリズムの適用例

フォーカスと露光の条件を変更することにより、パターンの形状が大きく変化するFEM( Focus Exposure Matrix )ウェーハに

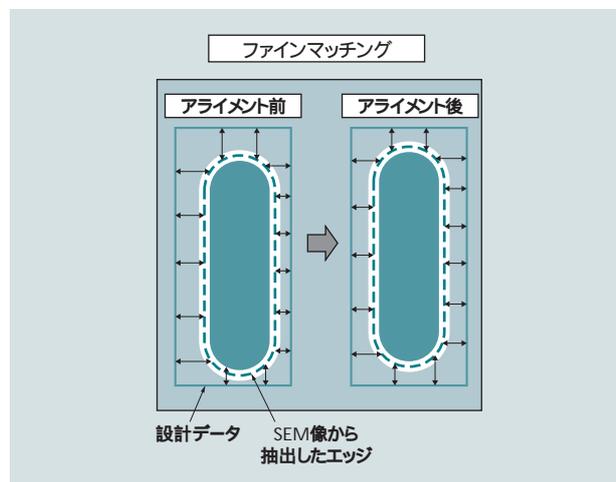
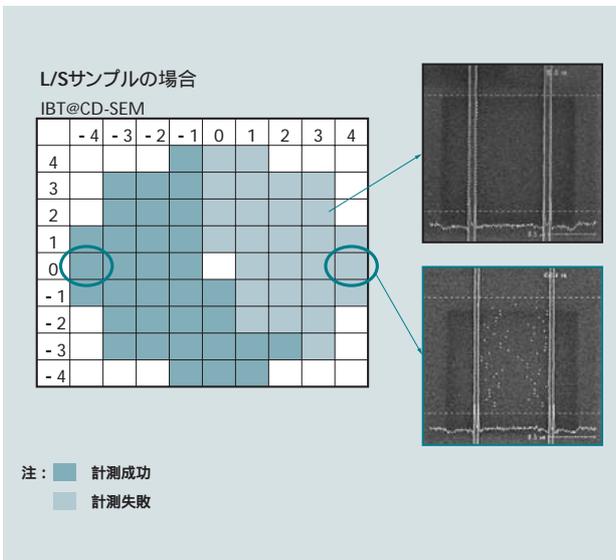


図4 ファインマッチングのアルゴリズム

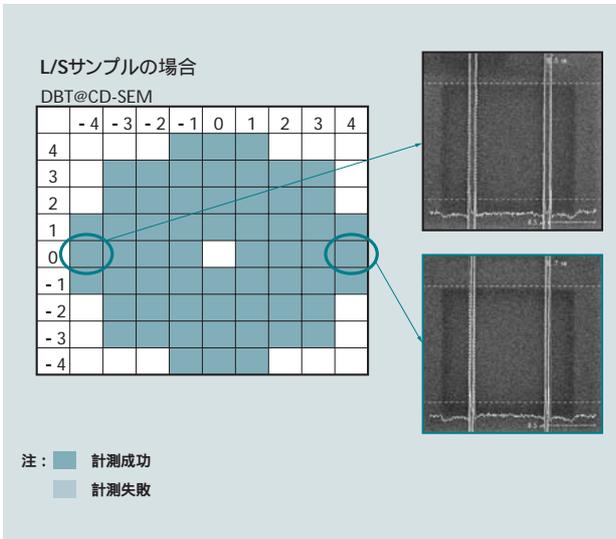
設計データとSEM像から抽出したエッジを利用しマッチングを行う。



注:略語説明 L/S( Line/Space ),IBT( Image Based Template )

図5 IBTでの測定例

形状変化が著しいFEMウェーハのため、右半分チップの測定点に対しては測定対象ではないという判断を行っている。



注:略語説明 DBT( Design Based Template )

図6 DBTでの測定例

形状変化が著しいFEMサンプルに対しても高いロバスト性を示している。

対し、通常のCD-SEMレシピ( Image Based Template )の測定を実施した例を図5に示す。ウェーハセンターのチップをリファレンスとしたレシピを作成し、測定を行ったが、ウェーハ右半分のハッチングされたチップでは、形状変化が著しく、リファレンスと異なるパターンと認識され、測定が行われなかった。

一方、同じウェーハに対し、ファインマッチングアルゴリズムを搭載した、DesignGaugeでの測定例( Design Based Template )を図6に示す。

通常のCD-SEM測定では計測できなかったエリアを含め、ウェーハ全面に対して測定が可能となっている。DesignGaugeのマッチングアルゴリズムのロバスト性が高いことを示す一例である。

### 3.新しい計測手法

#### 3.1 ゴーストパターンの検知法

微細化するプロセスに対応する手法の一つとしてSRAF( Super Resolution Assist Feature )と呼ばれる技術があることはよく知られている。しかし、時としてSRAFのパターンが悪影響を及ぼし、ゴーストパターンとなって現れることがある。ここでは、そのゴーストパターンを検知する方法を示す。

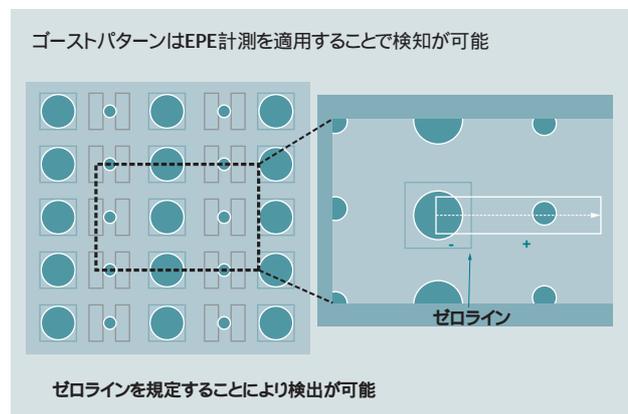
ゴーストパターンを検知するキープリケーションは、EPE( Edge Placement Error )計測になる。EPE計測は、設計データと実際のパターンの差分を計測する機能である。EPE計測を適用した測定手法を図7に示す。図中にあるゼロラインを規定することにより、ゴーストパターンが発生した場合はプラスの計測値として検知できる。

#### 3.2 Measurement Based Contour

最新のリソグラフィーでは、より強いOPCとして、いわゆるアグレッシブOPCを採用する動きになっている。このアグレッシブOPCを採用するためには、従来のルールベースOPCでのデータの流れとは異なるデータの流れが必要になる。そこで、期待されているのがContourデータと言われる輪郭線データである( 図8参照 )。

しかし、正確なOPCの補正を行うためには、従来の線幅計測などで採用している計測アルゴリズムをそのまま適用し、従来のプロセスコントロールルールに従ってOPCも補正する必要がある。そこで、CD-SEMの測長アルゴリズムを搭載した「Measurement Based Contour」と呼ばれる輪郭線抽出機能を開発した。輪郭線抽出のステップは以下の3ステップで進む( 図9参照 )。

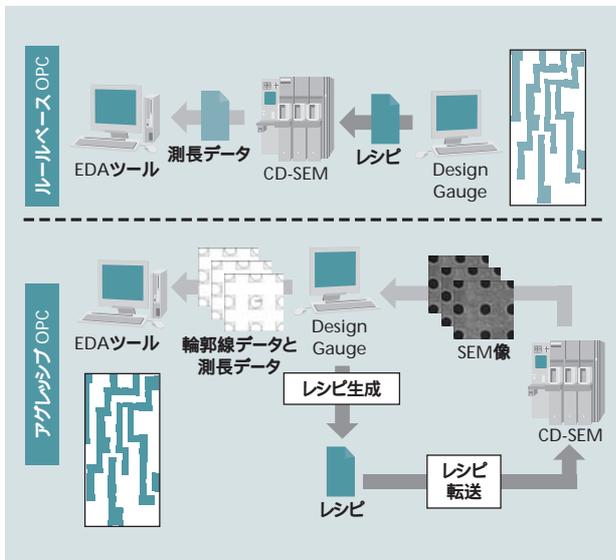
- (1) SEM像から画像処理で輪郭線を抽出する。
- (2) 測長アルゴリズムによりエッジを検出する。
- (3) 前のステップで検出した輪郭線をGDS( Graphic Data System )にする。



注:略語説明 EPE( Edge Placement Error )

図7 EPE計測を利用したゴーストパターンの検知

ゼロラインを設定することによりゴーストパターンの検知が可能になる。



注:略語説明 EDA( Electronic Design Automation )

図8 ルールベースOPCとアグレッシブOPCの比較

アグレッシブOPCには輪郭線データを利用した新しいデータの流れる必要がある。

#### 4. おわりに

ここでは、CD-SEMの機能を十分に活用した有効なシステム製品「DesignGauge」について述べた。

DesignGaugeを利用することにより、今後微細化がますます加速する半導体プロセスにおいて、きわめて重要と考えられている技術の一つであるアグレッシブOPCの精度向上や、OPC補正のスピードアップに確実に貢献する。

また、最新リソグラフィ技術の一つであるSRAFの露光条件の最適化においても、従来の計測法にはないVEPE計測を用いることにより、露光条件を確実に絞り込むことを可能にする。加えて、量産プロセスに対しては、設計データを用いたロバスト性の高いマッチングアルゴリズムを活用し、測定レシピの自

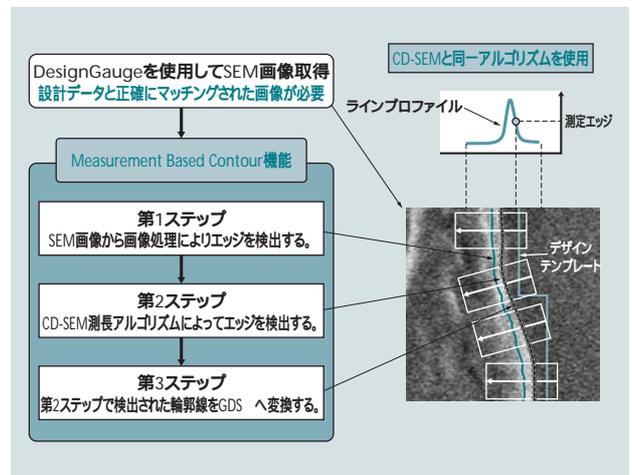
#### 執筆者紹介



**腰原 俊介**  
1989年日立計測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 那珂事業所 那珂アプリケーションセンター 所属  
現在、DesignGaugeのアプリケーション開発取りまとめに従事



**太田 祥広**  
1986年日立計測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 那珂事業所 那珂アプリケーションセンター 所属  
現在、DesignGaugeのアプリケーション開発に従事



注:略語説明 GDS ( Graphic Data System )

図9 Measurement Based Contourの抽出アルゴリズム

CD-SEMと同一の測長アルゴリズムから抽出された輪郭線データがアグレッシブOPCには有効である。

動化率を飛躍的にかつ短時間で向上させ、プロセスの垂直立ち上げに貢献することを可能とする。これら、株式会社日立ハイテクノロジーズが提供するDesignGaugeを用いたアプリケーションにより、計測技術の新しいパラダイムをひらくことが可能になる。

#### 参考文献

- 1) B. Bunday, et al.:Automated CD-SEM Recipe Creation A New Paradigm in CD-SEM Utilization. ,SPIE Vol. 6152 61521B-1(2006)
- 2) L. Capodici, Ph.D.:Design-Driven Metrology:A New Paradigm for DFM-Enabled Process Characterization and Control:Extensibility and Limitations. ,SPIE Vol. 6152 615201-1(2006)
- 3) C. Tabery, et al.:Evaluation of OPC Quality using Automated Edge Placement Error Measurement with CD-SEM ,SPIE Vol. 6152 61521F-1(2006)
- 4) R. Matsuoka, et al.:Development of the Automatic Recipe Generation System for CD-SEM Using Design Data ,SPIE Vol. 6152 61524N-1(2006)



**栄井 英雄**  
2003年株式会社日立ハイテクノロジーズ入社、半導体製造装置営業統括本部 評価装置営業本部 営業技術部 所属  
現在、DesignGaugeのマーケティング取りまとめに従事



**松岡 良一**  
2003年株式会社日立ハイテクノロジーズ入社、那珂事業所 半導体計測システム設計部 所属  
現在、DesignGaugeのシステム設計業務に従事