

# 65 nm ノード対応高性能明視野光学式 ウェーハ外観検査装置「HA-3000形」

## Bright Field Optical Wafer Inspection System for 65 nm Node

渡辺 健二 Kenji Watanabe

船越 知弘 Tomohiro Funakoshi

前田 俊二 Shunji Maeda

宮崎 陽子 Yoko Miyazaki



### HA-3000形の特徴

- プロセスノード: 90 ~ 65 nm ノード対応
- 検査モード: セル比較モード  
ダイ比較モード  
セル・ダイ比較混合モード
- 検査速度: 300 mm 径ウェーハ 毎時3枚
- 欠陥自動分類: RDC 標準搭載
- 安全規格: SEMI/S2-0200, CE-MARK 対応
- FA: GEM 対応(オプション)

注: 略語説明 RDC( Realtime Defect Classification ), SEMI( Semiconductor Equipment and Materials Institute ), GEM( Generic Equipment Model )

### 高性能明視野光学式ウェーハ外観検査装置「HA-3000形」の外観と主な特徴

DUV( Deep Ultraviolet ) 光学系を搭載した明視野光学式ウェーハ外観検査装置の最新鋭機種「HA 3000形」により、90 nm ノード以降のプロセス開発・量産に向け、高感度、高スループットを実現した。

最先端半導体デバイスの微細化の傾向は加速される一方である。このような背景の中で、ウェーハ検査装置に求められる性能は、半導体デバイスの微細化に伴って高感度化だけでなく、ArFレジスト、Cu配線、Low-*k*(低誘電率)材など「新材料への対応」、300 mmウェーハライン用の「高スループット化」などさまざまな点である。

株式会社日立ハイテクノロジーズは、このようなニーズにこたえる装置の一つとして高性能明視野光学式ウェーハ外観検査装置「HA-3000形」を株式会社東

京精密と共同で開発し、2003年に製品化した。

この装置では、光源として従来の白色光やUV(紫外)光に比べて波長の短いDUV(遠紫外)光を採用することにより、高感度化と光源の高輝度化による検査ピクセルサイズの微細化などを実現するとともに、世界最高速の画像処理装置を開発することによって従来比数倍以上のスループットを実現し、90 nm ノードはもとより、65 nm 以降のノードにも対応できる体制を整えた。

## 1 はじめに

最先端半導体デバイスでの微細化傾向は、その速度を緩めることなく、一部の先端デバイスメーカーでは開発プロセスノードが90 nm から65 nm へ、量産プロセスノードも100 nm から90 nm 以降へと進みつつある。このような最先端の半導体デバイスでは、OPC( Optical Proximity Correction ) を駆

使したArF露光による微細加工技術やゲート絶縁膜などのHigh-*k*(高誘電率)材、配線層間膜としてのLow-*k*材(低誘電率)、Cu、ひずみSi、SOI( Si on Insulator )といった新材料の採用が加速している。しかし、新技術が導入される中で、ウェーハ検査装置には従来装置では検出できなかった微細な欠陥や、新材料による新たなモードの欠陥の検出が課題となっている。光学式欠陥検査装置に求められている要件は、以下のとおりである。

- (1) 微細欠陥検出に必要な高感度検出能力
- (2) パターンノイズ低減とSN( Signal-to-Noise )比の向上
- (3) 自動欠陥分類機能の搭載
- (4) 高感度・高スループット検査の両立

ここでは、このような要件に合わせて株式会社日立ハイテクノロジーズと株式会社東京精密が共同で開発した、高性能明視野光学式ウェーハ外観検査装置「HA-3000形」について述べる。

## 2 HA-3000形の特徴

### (1) 高感度欠陥検出の実現

従来の可視光光源に代えて、高輝度で短波長のDUV( Deep Ultraviolet )レーザー光源に変形照明とSR( Super Resolution : 超解像 )技術を組み合わせた光学系に加え、高性能なダイ比較アルゴリズムを採用することにより、高感度欠陥検出を実現した。

### (2) パターンノイズ低減

パターン付きウェーハ欠陥検査では、色むらやグレイスケール( 粒子 )の起因による擬似欠陥検出の問題がある。HA-3000形では、明るさの違いを許容するダイ比較アルゴリズムを採用することで、このようなパターンノイズの低減を可能とした。

### (3) 高スループットの実現

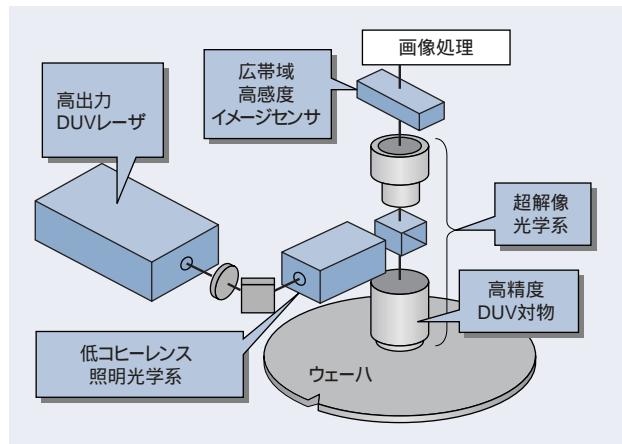
検査ピクセルサイズの微細化やウェーハサイズの大型化に伴う画像処理量の増大に対応し、世界最高速の画像処理装置と、高速比較アルゴリズムをそれぞれ開発することにより、従来装置の数倍以上のスループットを実現した。

## 3 HA-3000形の構成

### 3.1 光学系

一般に光学系の解像限界は波長に比例し、レンズのNA( Numerical Aperture : 開口数 )を用いておおむね $\frac{1}{2NA}$ で示され、波長の短縮に比例して解像度は向上する。HA-3000形では、安定した連続発振の高出力レーザーとして波長266 nmのDUVレーザーを採用した。DUVレーザーを用いることによって色収差の影響から開放されるので、極限の低収差を実現でき、かつ視野の広い高性能DUV対物レンズの開発が可能となった。また、高速画像スキャン時でも光源パワーに余裕があることから、ピクセルサイズや後述する超解像条件など、さまざまな検出条件の適用が可能となり、プロセスへの対応力が確保しやすい。さらに、レーザー光源の採用によるスペックル( はん点 )ノイズは、低コヒーレンス照明光学系を開発することによって除去している( 図1、図3参照 )。

配線工程で主流となりつつあるCuダマシン工程では、



注：略語説明 DUV( Deep Ultraviolet ; 遠紫外 )

図1 DUV光学系の構成

波長266 nmのDUVレーザーとレーザー特有のスペックルノイズを除去する照明光学系、および「SRシリーズ」で定評のあるSR( 超解像 )光学系により、高感度欠陥検出を実現した。

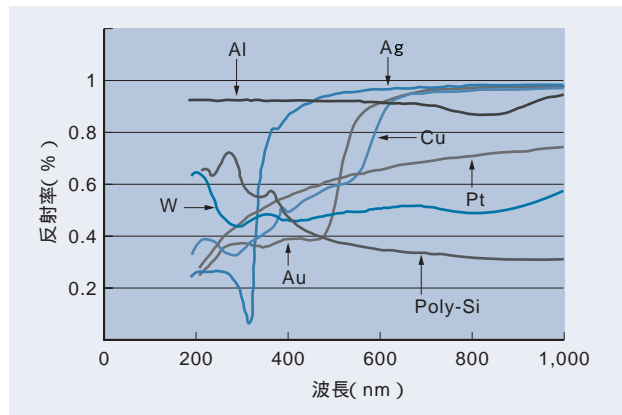
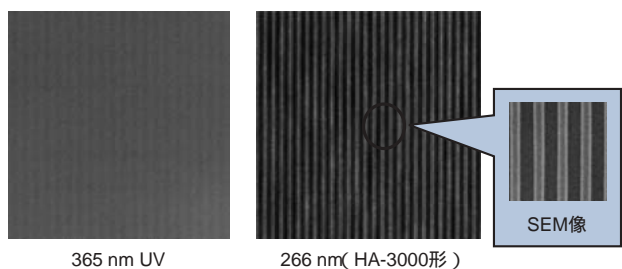


図2 材料の反射率と波長の関係(分光反射率)

266 nm付近ではCuと多結晶Si、Alと多結晶Siともに反射率の違いが大きく、下地との像コントラストを得やすいため、配線パターンの検査にも適している。



注：略語説明 UV( Ultraviolet ), SEM( Scanning Electron Microscope )

図3 短波長化の効果

株式会社日立ハイテクノロジーズ製マイクロスケールサンプル( 0.11 μmライン、0.13 μmスペース )が明らかに解像されている。

ショート( 電流短絡 )欠陥などへの検査の要求が高まっている。波長266 nmの光はCu材に対して反射率が最小となるので、下地との像コントラストが得やすく、検査に有利である( 図2参照 )。

上述した高感度DUV光学系に加えて、新規開発の高感度イメージセンサとダイ比較アルゴリズムによって画像間の微小な違いを検出し、波長の数分の1オーダーの小さな欠陥に対応する検出感度を得ている。さらに、実績のある独自の

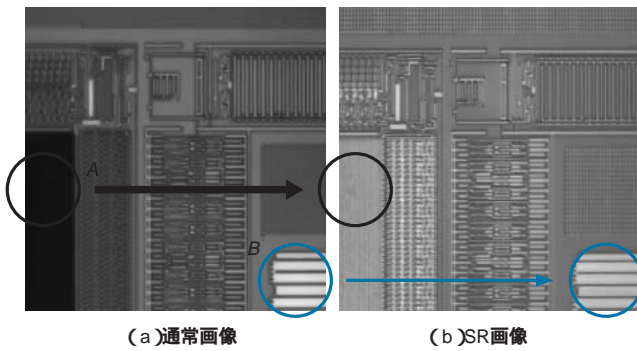


図4 SR光学系の効果

SR技術により、解像限界に近い微細パターン部Aのコントラストが上がり、パターンの疎な高反射率部Bの信号が抑制されている。

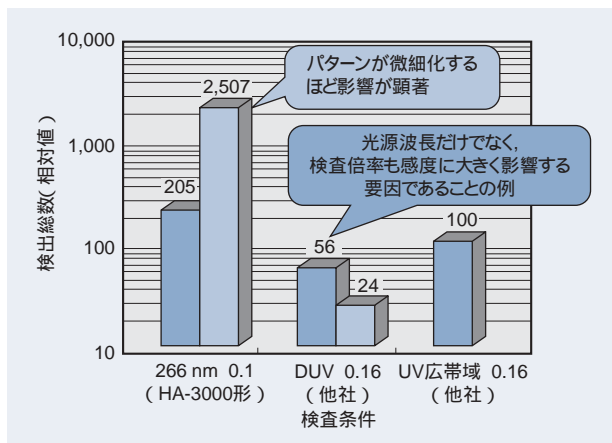
SR光学系によって解像限界に近いパターンのコントラストを飛躍的に強調し、感度の向上を図っている(図4参照)。SR条件はプロセスに応じて最適なものが選択でき、これによってプロセス対応力を高めている。

### 3.2 ステージ

光学系で得られた解像度を生かすために、レーザ干渉計を搭載したX・Y軸高速高精度リニアモータステージ、高速・高精度リアルタイムオートフォーカス、および広帯域・高感度イメージセンサを新たに開発している。

### 3.3 画像処理

さまざまなプロセスへの対応力を強化するために、高速プログラムブル画像処理システムを新たに開発し、フレキシビリティを確保した。このシステムには、プロセスに起因する色むらを吸収し、形状の微細な違いの識別を可能とする「ダイ比較アルゴリズム」を搭載した。さらに、繰り返しパターンのセル部と、ランダムパターンの周辺回路部が同時に検査できる「セル・ダイ混合比較」を実現した。



注：■ 90 nm ノード，□ 65 nm ノード

図5 HA 3000形の微細欠陥検出能力

UV広帯域照明だけでなく、他社のランプ照明DUV検査装置に比べても高い検出能力を示した。65 nmでは有効性がさらに顕著になる。

また、新たにRDC(Realtime Defect Classification)機能を搭載することにより、欠陥として検出されたものであっても、デバイスの歩留りに直接影響を与えない検出が不要なニュイサンス欠陥を、その属性の違いによって実欠陥とは別なクラスに分類し、除去したうえで最終的な検査結果をリアルタイムに報告する。RDC機能が疑似欠陥をはじめとする欠陥を自動分類することにより、欠陥数増大に伴うオペレータやレビュー装置への負担が軽減する。

## 4 適用事例

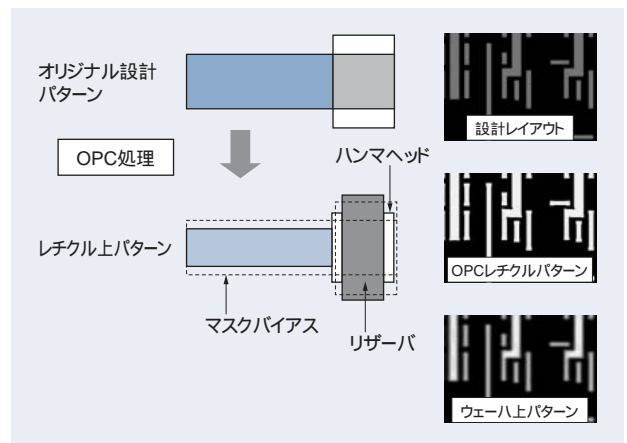
### 4.1 微細欠陥検出能力

照明光の短波長化により、従来の白色光やUV(Ultraviolet)光照明を用いた検査装置に比較し、分解能は格段に向上する(図3参照)。したがって、微細パターンにおける微細欠陥検出能力が大幅に向上している(図5参照)。このデータは実デバイス上の欠陥検出個数(実欠陥だけ)を示したものである。90 nmノードの半導体デバイスでは、HA-3000形が他社装置の2.4倍の欠陥を検出した。HA-3000形では、レーザによる高輝度照明を採用していることから、ランプ照明に比べてさらに小さな検査画素サイズを使用することができるため、良好な結果を示している。

さらに微細な65 nmノードの半導体デバイスでは、他社DUV照明検査装置に比べて10倍以上の欠陥を検出した。今後の65 nmノード以降の半導体の開発、量産では、いっそうの有効性を発揮することが期待できる。

### 4.2 レチクル評価への応用例

65 nmノードの半導体などの微細パターンを露光するためには、ArF光源を用いてさまざまなOPCを施したレチクルを使用しなければ所望のパターンの加工ができない。OPC効果の



注：略語説明 OPC(Optical Proximity Correction)

図6 OPC効果の例

補正なしマスクでは、近接露光効果の影響で所望のパターンが転写されない。このため、さまざまな補正パターンがマスク上に形成される。

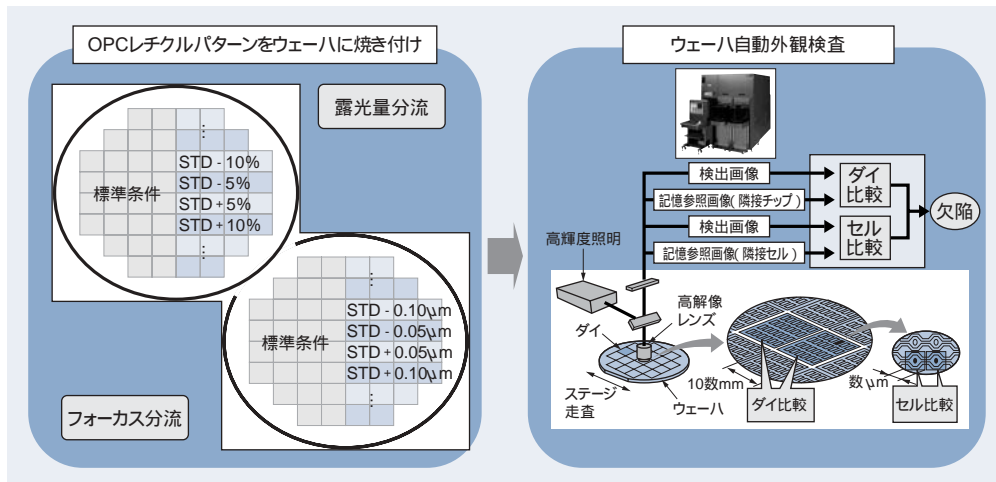


図7 OPCレチクルの評価方法

露光条件を変えてOPCレチクルパターンをウェーハ上に転写し、転写したパターンをウェーハ外観検査装置のダイ比較モードで検査する。

注：略語説明 STD(Standard)

例を図6に示す。OPCを行うことにより、従来に比較して露光のマージンが狭くなり、量産段階で安定した高歩留りを維持することは難しくなる。露光マージンを確認するためには、実際に露光量やフォーカスをパラメータとして露光し、パターンを転写して評価する方法が現実的である。しかし、マスク全面のパターンを評価するには膨大な時間がかかるため、さまざまな手法が模索されている<sup>1)</sup>。その中で、ウェーハ外観検査装置を利用し、露光条件の変動に従って発生する欠陥を検出して評価する手法が有効である。

HA-3000形では、ArF露光波長に近い照明光を使用し、レジストパターンと下地の反射防止膜とのコントラストを従来の検査装置よりも大きく取ることができるため、高感度検査を可能としているという特徴がある。

HA-3000形による評価手法を図7に示す。露光条件を変えて、OPCレチクルパターンをウェーハ上に転写する。このとき、ウェーハ外観検査装置のダイ比較モードで検査を行うため、検査するダイの両側には標準条件で露光されたパターンがなくてはならない。試料ウェーハを作成する際には、この点に注意する必要がある。また、露光条件の変化によって発生する欠陥はダイ内の同じ位置に発生する可能性が高いことから、ダイ間での繰り返し欠陥になる。これに対しては、同じ座標位置に発生した繰り返し欠陥だけを抽出することにより、検査を効率的にすることができる。その後、ウェーハ外観検査装置によって検出した欠陥をSEM(Scanning Electron Microscope)で観察し、露光マージンを確認するという手法が効率的である。今後ますます微細化が進む中で、OPCレチクル評価は、ウェーハ外観検査の重要なアプリケーションとなるものと考えられる。

## 5 おわりに

ここでは、高性能明視野光学式ウェーハ外観検査装置「HA-3000形」について述べた。

90 nmノード、さらには65 nmノード時代を迎え、先端半導体デバイスの開発や量産工場の立ち上げのスピードアップには、検査技術がますます重要視されるようになってきた。日立グループは、今後も、微細化が進むパターンや新しい材料、高速化への要求にこたえる半導体検査装置の開発と性能向上に努めていく考えである。

### 参考文献

- 1)Hyunjo Yang, et al.: OPC Accuracy and Process Window Verification Methodology for Sub-100 nm Node, SPIE(2004)

### 執筆者紹介



渡辺 健二

1978年日立製作所入社、株式会社日立ハイテクノロジーズデバイス評価装置営業本部 所属  
現在、半導体検査関連のアプリケーション開発に従事  
工学博士  
精密工学会会員  
E-mail: watanabe-kenji @ naka.hitachi-hitec.com



前田 俊二

1980年日立製作所入社、生産技術研究所 検査システム研究部 所属  
現在、半導体の検査・計測技術の研究開発に従事  
工学博士  
電子情報通信学会会員、精密工学会会員、映像情報メディア学会会員  
E-mail: maeda @ perl.hitachi.co.jp



船越 知弘

2002年株式会社日立ハイテクノロジーズ入社、研究開発本部 アプリケーションテクノロジセンタ 所属  
現在、半導体検査装置関連のアプリケーション開発に従事  
IEEE会員  
E-mail: funakoshi-tomohiro @ naka.hitachi-hitec.com



宮崎 陽子

1986年三菱電機株式会社入社、株式会社アクレーテック・マイクロテクノロジー 開発部 所属  
現在、半導体検査装置の設計・開発に従事  
E-mail: miyazakiy @ accretech.jp