

サブ100 nm時代の電子線測長装置 —S-9260形—

New CD-SEM System for sub-100 nm Process Generation

那須 修 Osamu Nasu

池田光二 Mitsuji Ikeda

笹田勝弘 Katsuhiko Sasada

江角 真 Makoto Ezumi



- 測長再現性 (スタティック) 2 nm (3 σ)
- 加速電圧範囲 300~1,600 V
- 分解能 3 nm
- スループット ウェーハ毎時65枚
- MAMタイム <5 s
- 標準3カセット (SMIF2カセット)
- ソフトウェア 標準Ver.16搭載
- 安全規格 SEMI S2-0200適合

注：略語説明

MAM (Move, Acquire, Measure)

SMIF (Standard Mechanical Interface)

SEMI (Semiconductor Equipment and Materials Institute)

新開発の電子線測長装置「S-9260形」の外観と主な仕様

測長SEM(走査電子顕微鏡) S-9000シリーズの最新機種「S-9260形」は、0.1 μ mデザインルールでのプロセスの開発と半導体の量産ニーズに適合する。

半導体製造検査装置がサブ100 nm時代へ突入すると同時に、観察能力の向上だけでなく、測長再現性のいっそうの向上が求められるようになった。また、微細化に伴って登場したArFレジストやLow-K絶縁層など、新しいプロセスに対応する機能へのニーズが高まってきた。

日立グループが製品化した測長SEM「S-9260形」では、(1) S-9000シリーズに共通する電子光学系の優れた観察能力、(2) 測長再現性、スループットなどの基本性能の向上、(3) プロセス変動モニタ機能の充実、(4) 装置性能の保守・管理を支援する機能、(5) 傾斜像の観察機能や表面帯電試料の測定機能、(6) ArFレジストの測長機能などにより、次世代の半導体製造工程に適応した測長環境を提供する。

1 はじめに

1 MビットDRAM(Dynamic Random Access Memory)の量産は、1985年ころに1.3 μ mのデザインルールで開始された。このころから、パターン寸法の検査装置に、電子ビームの技術を用いた走査形電子顕微鏡(測長SEM: Scanning Electron Microscope)が用いられるようになった。測長SEMによって半導体プロセスで形成される微細なパターンの寸法が計測できるようになり、品質の高い半導体素子の製造も可能となった。現在では、さらに微細化が進み、0.13 μ mのデザインルールで量産が行われており、数年後には0.1 μ m以下になると予測されている。米国のITRS(International Technology Roadmap for

Semiconductors)がまとめた、半導体製造プロセスの技術動向と測長SEMに対する市場の要求は以下のとおりである。

- (1) 高アスペクト比の微細パターンを観察し、高精度で安定した測定を短時間で行えること
- (2) 0.1 μ m以下の世代のプロセスに対応できること
- (3) パターンの形状変化を測定して製造プロセスの変化を検出できること
- (4) 自動化による生産性の向上と無人化に対応できること

ここでは、以上のような市場の要求にこたえて日立グループが開発した新型測長SEM「S-9260形」¹⁾について述べる。

2 S-9260形の特徴

2.1 優れた観察能力

S-9260形の電子光学系は、3 nmの像分解能を持ち、0.1 μm以下のライン・スペース、ホールパターンに対応している。観察例を図1、2に示す。

2.2 基本性能の向上

S-9260形では、基本性能を向上させた(45ページの図参照)。

2.2.1 測長再現性

真空試料室の清浄化による試料汚染の低減と、画像認識のパターン検出精度の改善により、測長再現性を向上させた。10回の繰り返し測定の実現精度は3σで2 nmを達成している。

2.2.2 スループットの向上

新型の搬送ロボットを採用することにより、大気中でのウェーハハンドリング時間を短縮した。また、新たに開発した高速画像処理装置と画像処理アルゴリズムにより、毎時ウェーハ処理65枚のスループット(5点測長、日立グループ標準ウェーハによる。)を実現した。

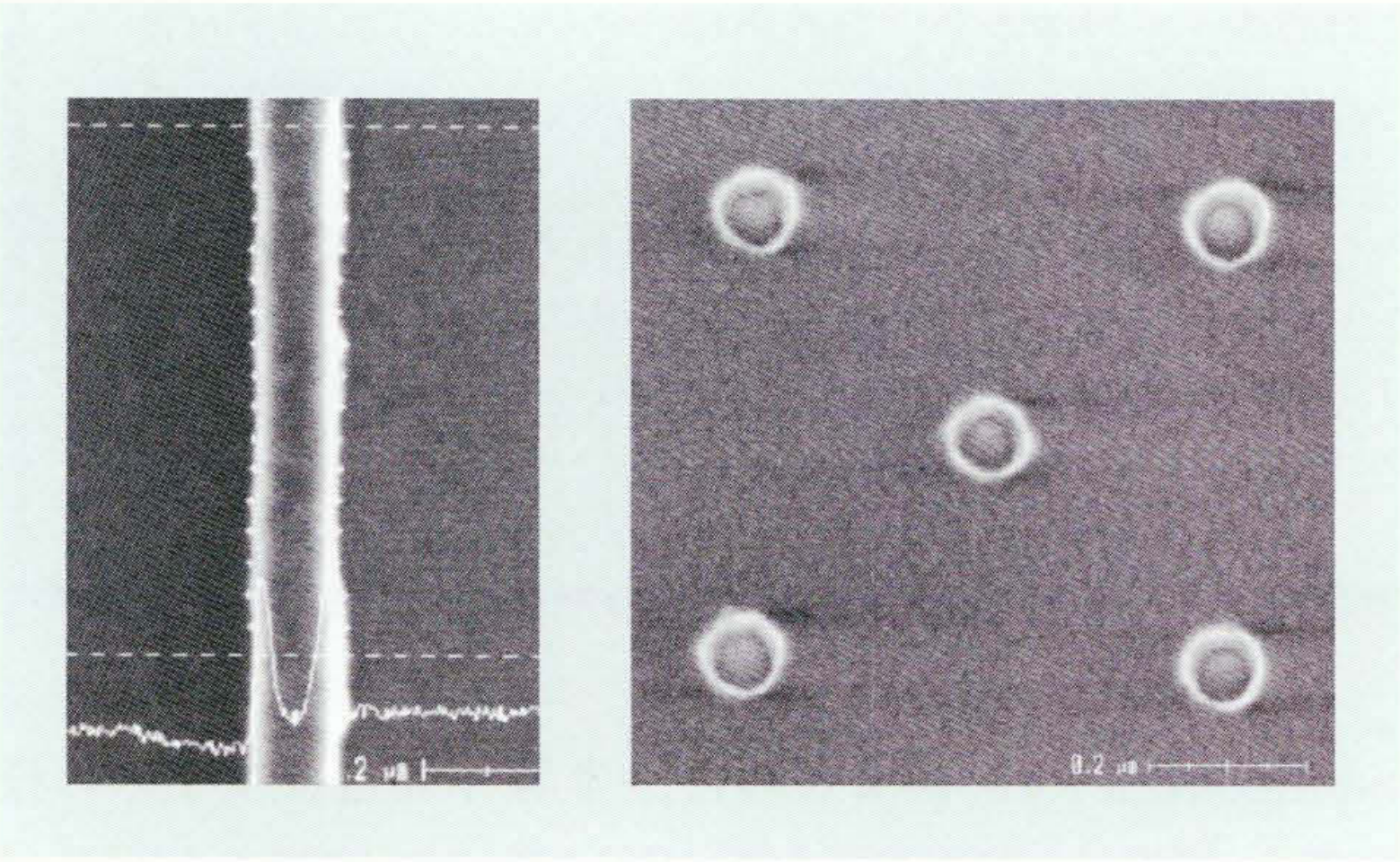


図1 S-9260形による微細パターンの観察例
幅69 nmのラインと径64 nmのホールの観察例を示す(0.5 μm厚電子線レジスト)。

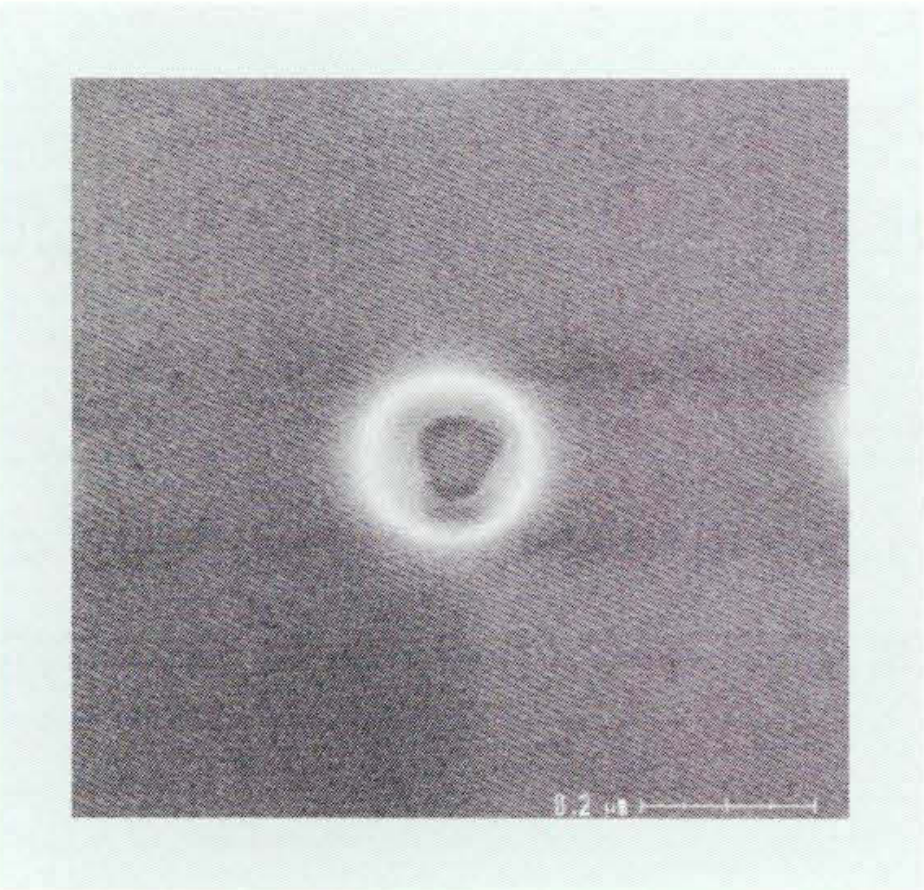


図2 S-9260形による高アスペクト比ホールの観察例
2.0 μm厚のBPSG(Boro-Phospho Silicate Glass)膜に形成されたアスペクト比~20のホール像を示す。底部が明るく観察できているのがわかる。

2.3 プロセス変動モニタ機能

プロセス変動の早期検出は歩留り管理の基礎であり、測長SEMにもその機能が求められるようになってきた。S-9260形では、フォーミュラエディタ機能と傾斜像観察機能の二つの機能により、プロセス変動の検出・管理を支援する。

2.3.1 フォーミュラエディタ機能

フォーミュラエディタ機能とは、ある測定対象パターンについて複数の寸法値を測定し、その寸法値を四則演算することで、対象パターンの形状変化をモニタする機能である。フォーミュラエディタ機能の設定例を表1に、応用例を表2にそれぞれ示す。

2.3.2 傾斜像観察機能

傾斜像(ビームチルト)観察機能とは、あるパターンに対して一次電子線を偏向して照射し、真上から見えにくいパターン側壁の形状や、ホール底面付近の形状を観察する機能である。S-9260形では8方向への傾斜が可能である。

露光装置などプロセス装置のAPC(Advanced Process Control)にこのようなプロセス変動の情報を利用するこ

表1 フォーミュラエディタ機能の設定例

ラインパターンのボトム幅だけではなく、トップとボトム幅の比、左右の傾斜寸法、傾斜角などの演算を自由に定義することができる。対象とするパターンに最適な演算値を用いることで、パターン形状の変化を効果的に検出する。

項目	デューティ比	対象性	傾斜角
形状			
式	$\frac{T}{B}$	$ L-R $	$\tan^{-1} \left(\frac{W}{H} \right)$

表2 フォーミュラエディタ機能を用いた応用例

ボトム幅に対し、トップ対ボトム($\frac{T}{B}$)比はさらに鋭敏にパターン形状に反応し、プロセス変動を検知する。

SEM像			
ボトム	0.203 μm	0.199 μm	0.216 μm
$\frac{T}{B}$	0.400	0.565	0.678

とにより、プロセス変動を効果的に低減することができる。

2.4 装置の保守・管理支援機能

S-9260形では、光学系性能のモニタ機能によって光学系の状態をモニタすることができるため、軸調整のタイミングを判断することが可能である。また、自動軸調整機能を用いることによって電氣的な軸調整もでき、自己診断やメンテナンス性の向上が図れる。

2.4.1 光学系性能のモニタ機能

この装置は、軸調整や非点収差のずれなどを総合的にモニタする機能を持つ。標準試料として、独自の寸法値校正試料マイクロスケールを用いている。マイクロスケールは、レーザ干渉じま露光とSi単結晶の異方性エッチングを利用し、正確なピッチ(240 nm)でライン・スペースパターンを形成した素子である。X, Y2方向のマイクロスケール画像をフーリエ変換し、像質の評価値を算出する。評価値は、あらかじめ記録した「標準画像」と比較して表示される。時系列グラフによる経時変化の管理も可能である。

2.4.2 電子光学系の自動軸調整機能

従来は、ユーザーが定期的に、あるいは像質の低下時に、手で電子光学系の軸調整を行っていた。S-9260形では、画像処理による自動軸調整機能を搭載しているので、短時間で、操作者に依存せずに正確な軸調整ができる。

2.5 新プロセスへの対応

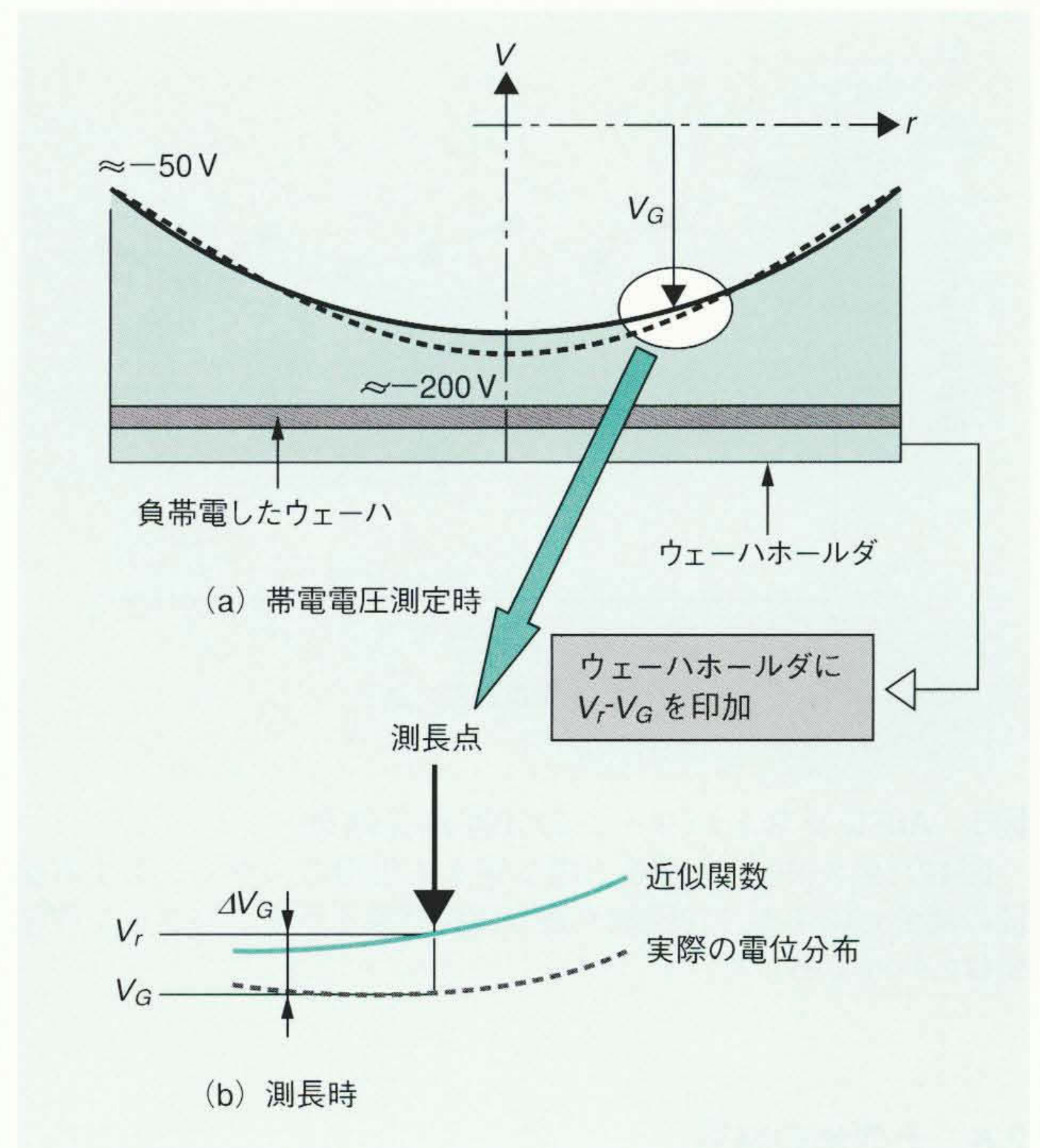
2.5.1 ウェーハ帯電補正機能

近年、配線やLow-Kといった材料や、処理プロセスの多様化に伴い、ウェーハの表面に帯電が見られるようになった。帯電量は大きいものでは200～300 Vになる場合もあり、これが要因となって自動焦点合わせに失敗したり、対物レンズの光学倍率が変化して測長誤差が発生したりして、測長の障害となっていた。

S-9260形では、静電プローブをウェーハの搬送経路に設置してウェーハの搬送中に帯電量を計測し、その帯電電圧分をリターディング電圧に重畳して印加することにより、スループットに影響することなくウェーハの帯電を補正する機能²⁾を搭載している。帯電ウェーハ補正方法の模式図を図3に示す。

2.5.2 ArFレジスト対応パッケージ

波長193 nmのArF光によるリソグラフィを目的として開発されたArFレジストのうち、特にアクリル系樹脂を基材として開発されたArFレジストは、解像性に優れているものの、対SEM・エッチング耐性に問題があり、



注：略語説明 V_G (帯電電圧), V_r (リターディング電圧)

図3 帯電ウェーハの補正方法の模式図

静電計を用いてウェーハ表面の帯電電圧を測定し、ウェーハ全面の帯電電圧分布を半径 r に関する関数で近似する。任意の測長点でウェーハ基板に V_r-V_G を印加し、ウェーハ表面の電位を本来のリターディング電圧 V_r とする。

観察時の電子線照射によってレジストが収縮するという課題がある(図4参照)。その収縮量は照射した電子線のエネルギーと照射量に依存するため、収縮を抑えるためには、両者を必要最小限にすることが肝要である。測長結果例を図5に示す。

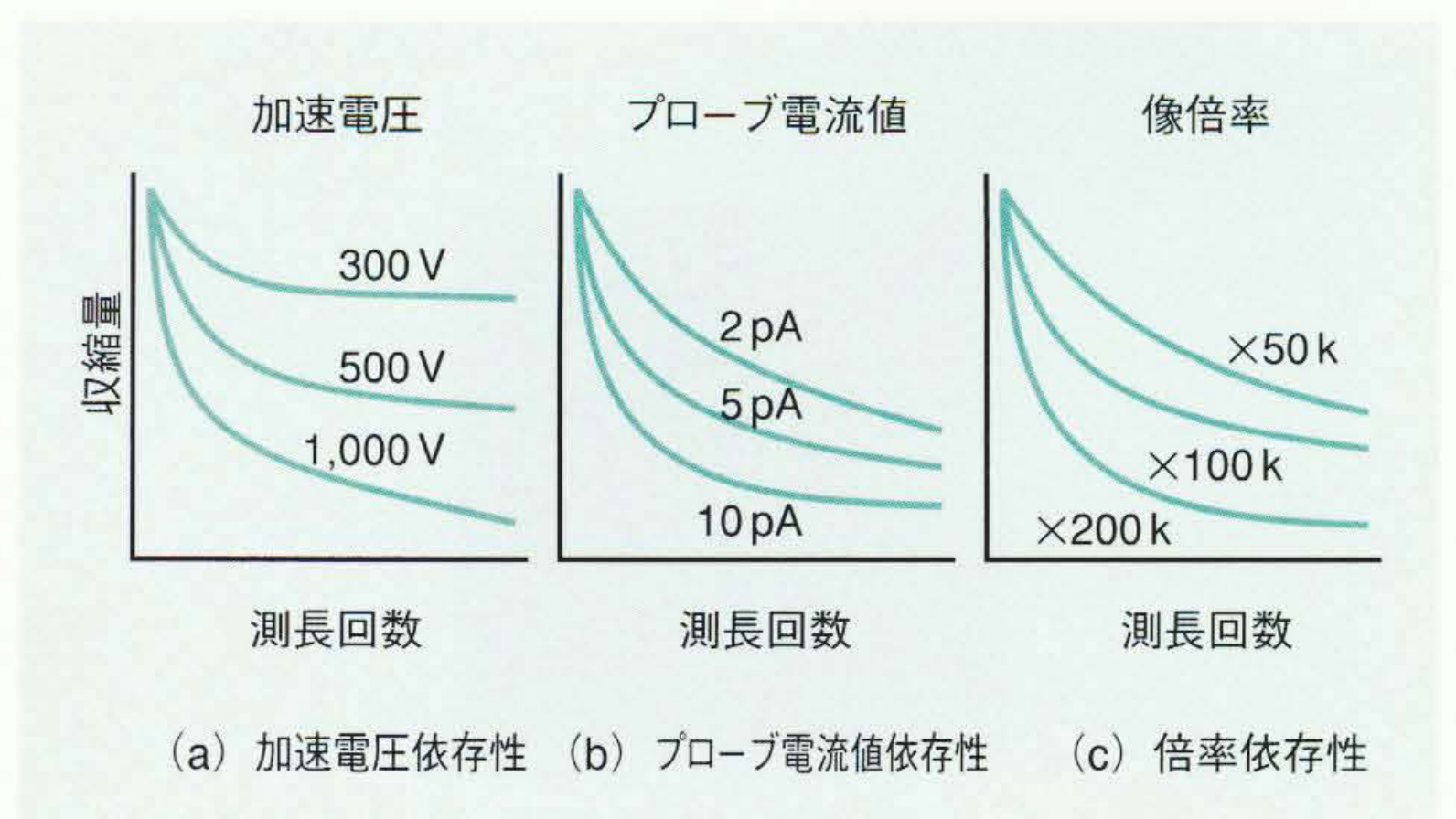


図4 測長時のパラメータと収縮量の関係

S-9260形では、ArFレジストパターン専用のモードを用意し、(a) 加速電圧、(b) プローブ電流、(c) 測長倍率のそれぞれに制限値を持たせるとともに、ライン・スペース測長では、測長方向(X)と直交方向(Y)で異なる倍率でスキャンする機能を持たせた。

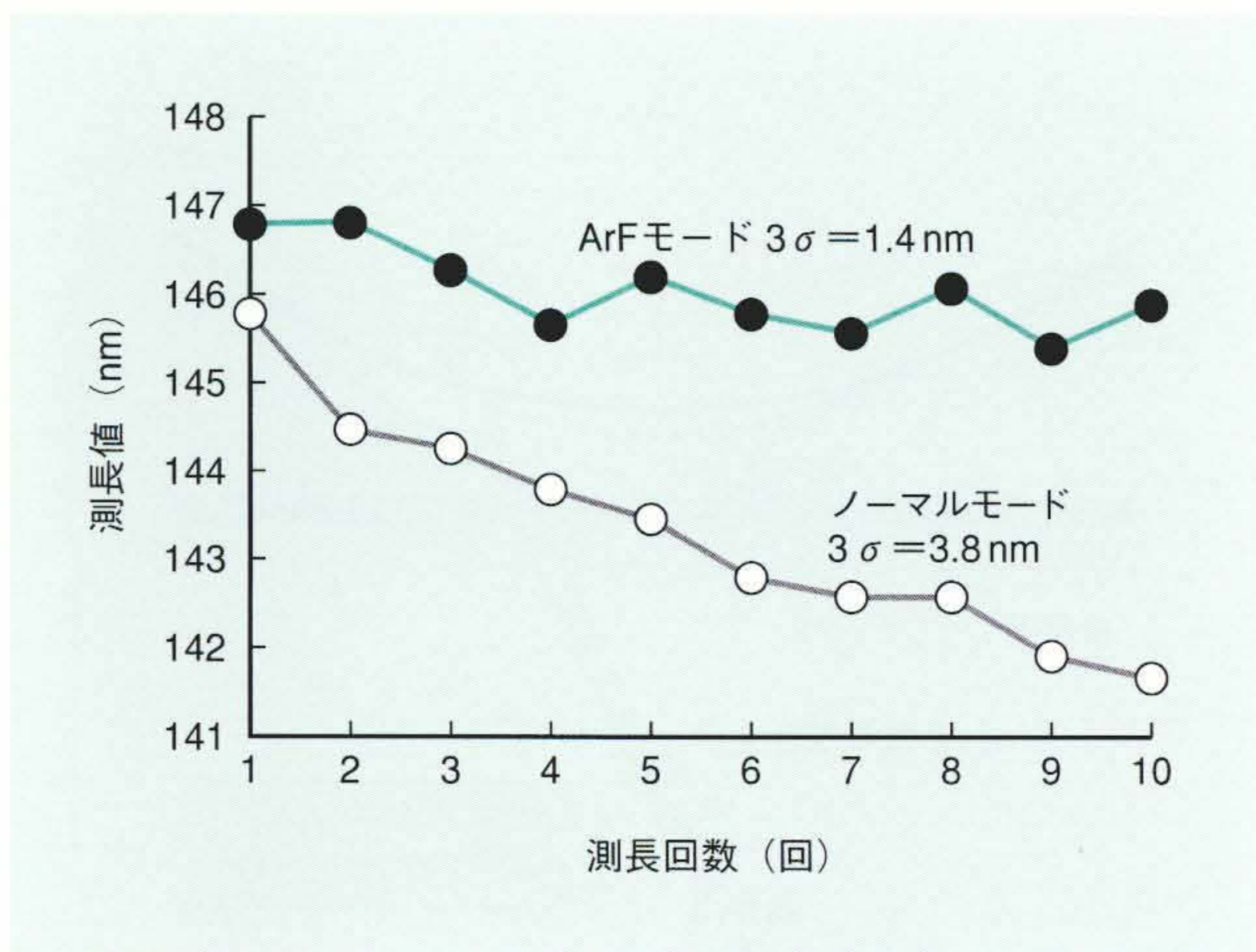


図5 ArFレジストパターンの10回測長結果

図4の(a)から(c)と測長方向で異なる倍率のスキャンをする機能の組合せによる、10回繰り返し測長結果を示す。パターン収縮量は1.4 nmであった。

2.6 その他の特徴

S-9260形には上記のほかにも種々の新機能を搭載している。例えば、高段差サンプルの観察に役立つマルチフォーカス機能は、異なる焦点位置の複数画像から合焦部分だけを検出し、選択的に合成する機能である(図6参照)。

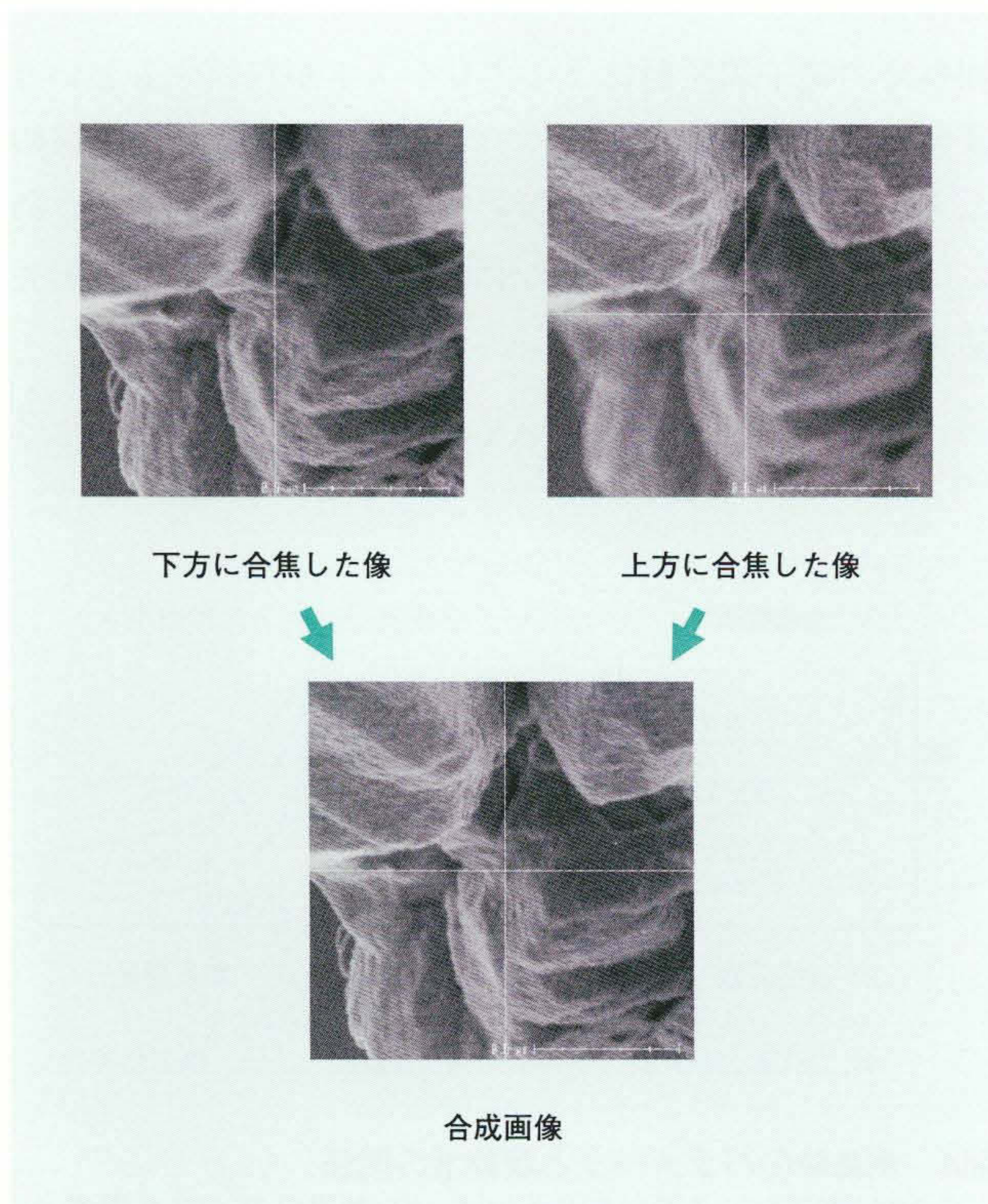


図6 マルチフォーカス機能の適用例

フォーカス位置を変化させて取得した複数枚の画像を合成することで、画面内全域でピントの合った像が得られる。

これにより、10 μmを超える高段差試料の視野全域を、高倍率で観察することができる。

3 おわりに

ここでは、サブ100 nm時代の電子線測長装置「S-9260形」について述べた。

半導体製造プロセスは0.1 μm以降の世代を迎え、測長SEMでは、さらに微細なパターンの高速・確実な測長と、新たな材料やプロセスへの対応が求められている。今後は、いっそうの性能向上が求められるとともに、三次元的な形状計測の機能やプロセス管理機能、CADデータとリンクして自動測定を行う機能など、新たな機能の開発が必要になる。

日立グループは、これらの要請にこたえうる特徴を持つ装置として、S-9260形の機能のいっそうの向上を図っていく考えである。

参考文献

- 1) 深谷, 外: 測長SEM S-9260について, LSIテストニングシンポジウム(2001.11)
- 2) 笹田, 外: 電子ビーム測長装置, ナノビームシンポジウム(2001.12)

執筆者紹介



那須 修

1990年日立製作所入社, 株式会社日立ハイテクノロジーズ 設計・製造統括本部 那珂事業所 エレクトロニクスシステム第一設計部 所属
現在, 電子線装置の設計・開発に従事
E-mail: nasu-osamu@naka.hitachi-hitec.com



笹田勝弘

1984年日立製作所入社, 株式会社日立ハイテクノロジーズ 設計・製造統括本部 那珂事業所 エレクトロニクスシステム第一設計部 所属
現在, 電子線装置の設計・開発に従事
E-mail: sasada-katsuhiko@naka.hitachi-hitec.com



池田光二

1985年日立製作所入社, 日立研究所 情報制御第一研究部 所属
現在, 画像処理アーキテクチャ, パターン認識技術の研究・開発に従事
電子情報通信学会会員, 情報処理学会会員
E-mail: ikeda@hrl.hitachi.co.jp



江角 真

1989年日立製作所入社, 株式会社日立ハイテクノロジーズ 設計・製造統括本部 那珂事業所 ビームテクノロジーセンター 所属
現在, 電子線装置用要素技術の開発に従事
応用物理学会会員
E-mail: ezumi-makoto@naka.hitachi-hitec.com