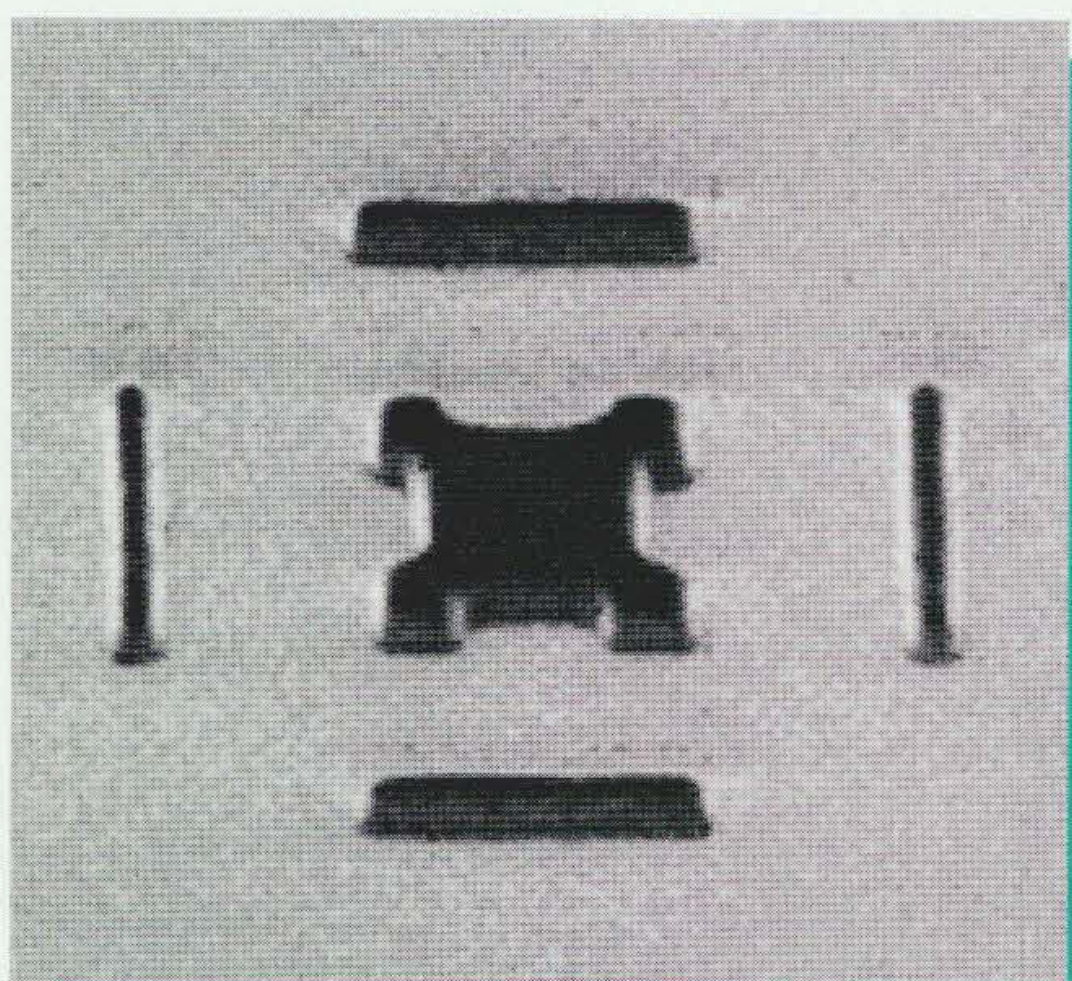


高精度レチクル対応の電子線マスク描画装置

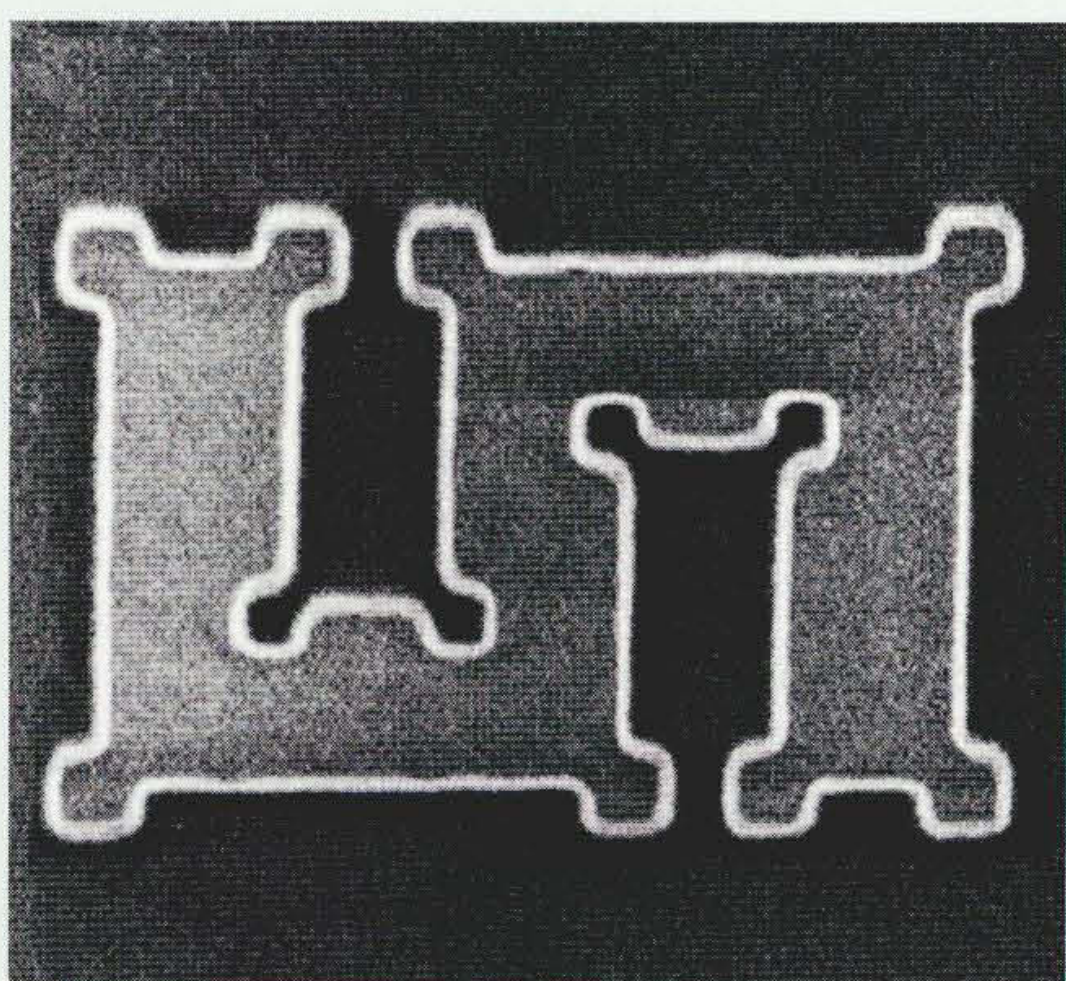
—HL-900Mシリーズ—

Newly Developed Electron Beam Mask Writing System

松岡玄也 Genya Matsuoka 中原哲二 Tetsuji Nakahara
水野一亥 Kazui Mizuno 佐藤秀寿 Hidetoshi Satô



(a) 0.4 μmシェリフパターン像



(b) 0.3 μmシェリフパターン像

ハイエンドマスクでの微細OPC(Optical Proximity Correction)パターンのレジスト像

走査電子顕微鏡“S-7840”で観察した、OPC寸法300 nm、ドーズ量25 μC/cm²のZEP7000レジストのOPCパターンを示す。

電子線を用いた場合、レーザー光と比較して、OPCパターンなどの、より微細なパターンを高分解で描画できる。

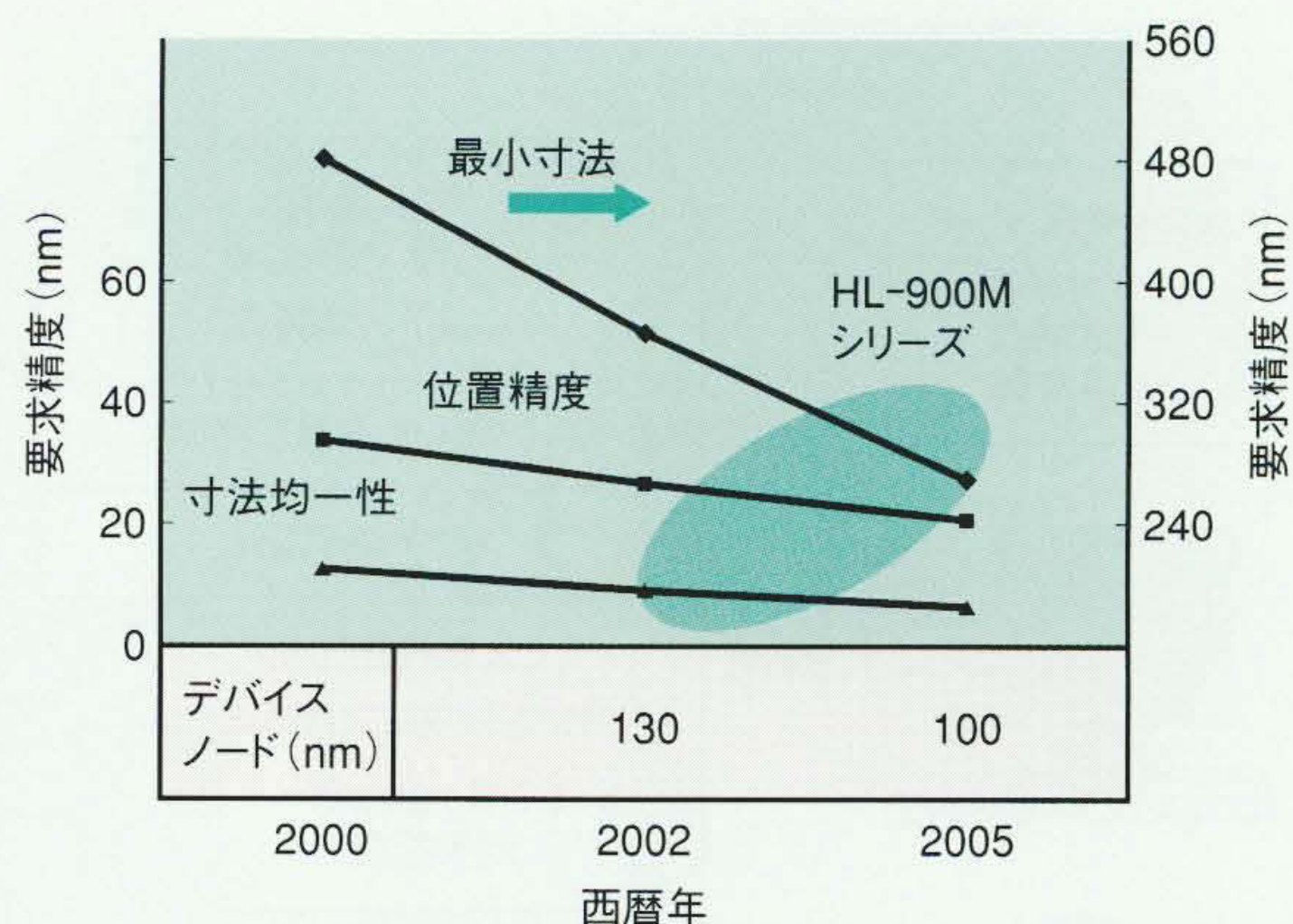
半導体の微細化は加速化され、リソグラフィー工程に使用されるレチクルへの要求仕様も急速に高精度なものとなっている。多くの半導体メーカーはすでに130 nmノードの開発を行っており、レチクル製造用の電子線描画装置に対しても、デバイストレンドに沿った高精度化が要求されている。

日立製作所は、1999年12月に、ユーザーの高精度レチクルへの要求にこたえるために開発した電子線マスク描画装置「HL-900Mシリーズ」を発表した¹⁾。この装置では、従来の「HL-800M型」を基に、新電子光学系、低ひずみステージ、大容量対応並列処理機能などの新技術の導入により、高精度化と高スループット化を図っている。また、先端マスクの実現には、描画装置だけでなくプロセスも重要な要因であり、その一つとして、化学増幅型レジストの活用を進めている。

1 はじめに

半導体デバイスの微細化は急速に進んでいる。1999年にSIA(米国半導体工業会)が発表した半導体の技術トレンド(ITRS: International Technology Roadmap for Semiconductors)によれば、2002年には130 nmデバイスの量産が予想されている(図1参照)。半導体製造工程のうちリソグラフィー工程は最も早く微細化への対応を要求される工程であり、それに使用されるレチクルへの要求はたいへん厳しくなっている。現在、多くの先端レチクルは電子線描画装置を用いて製造されており、したがって、同装置への要求仕様もますます高精度なものになってきている。

一方、リソグラフィー工程に使用される光縮小露光装置(ステッパ)の光波長も短波長化が進んでおり、解像度限界をさらに伸ばすために、OPC(Optical Proximity



参照データ: International Technology Roadmap for Semiconductors1999

図1 レチクルへの要求精度

レチクルへの要求精度を年代とともに示す。130 nmノードでは、寸法精度が10 nm以下になってくる。

Correction：光学的近接効果補正)パターンの付加や位相シフトマスクなどが採用され、レチクル製造分野での新たな動向となっている。

ここでは、日立製作所が開発した電子線描画装置「HL-900Mシリーズ」と、化学増幅レジストの最近の状況、およびマスク製作での電子線描画装置の将来について述べる。

2 装置の特徴

HL-900Mシリーズは、150 nm以降の高精度レチクル製造をターゲットとして開発した装置である。同装置は、HL-800M^{2),3)}をベースとし、精度向上のために、(1)高精度電子光学系、(2)低ひずみステージ、(3)高精度温度制御システム、(4)大容量パターンデータ対応並列処理機能などの新しい技術を導入している。

HL-900Mシリーズの主な特徴と効果を表1に示す。この装置では、可変成型ビーム、ベクトルスキャン、およびステージ連続移動の描画方式を採用している。加速電圧は50 kV、最大ビーム電流密度は10 A/cm²、最大ビームサイズは2×2 μm²である。ビームの偏向は3種類の偏向器を用いて行っており、主偏向領域が2×2 mm²、副偏向が480×480 μm²、および副副偏向が60×60 μm²である。対応マスクサイズは、約12.7 cm(5インチ)、約15.2 cm(6インチ)、および約17.8 cm(7インチ)である。

HL-900Mシリーズのシステム構成を図2に示す。制御用ワークステーションにより、データ準備、装置校正、描画制御などの装置全体の制御を行う。ワークステーションから装置のバッファメモリに転送された描画データは、

表1 HL-900Mシリーズの主な特徴と効果
150 nm以降の高精度レチクルへの要求に対応している。

特 徴	効 果
高加速電圧(50 kV)	高解像度、高精度
可変成型ビーム、ベクタ走査	高スループット
並列処理機能	高精度、高スループット、大容量対応
自動マスク搬送機能	使いやすい操作性
グラフィカルな操作画面	同上

圧縮された構成から基本図形へと展開される。近接効果補正部では、パターンの疎密による電子ビームの蓄積エネルギーの数値を基に、描画時での照射量の補正量を算出する。ショット制御部では連続的に移動するステージ位置情報をリアルタイムで偏向器にフィードバックするとともに、電子ビームの形状、位置、および照射量の補正を行う。

さらに、制御回路部を二重化することにより、描画動作と近接効果補正の並列処理を可能としている。これにより、描画時間の短縮と、近接効果補正精度の向上を図っている。同時に、パターンデータ量に対する制限を改善することにより、20 Gバイトを超える大容量パターンデータの描画を可能とした。

マスク搬送はオートローダによる自動枚葉式であり、C to C(Carrier to Carrier)方式で最大6枚の連続処理ができ、マスク自動搬送システムへの対応も可能である。また、ステージ構造の見直しを行い、ステージ移動時のテーブル変形を防ぐようにした。ステージ位置はレーザ

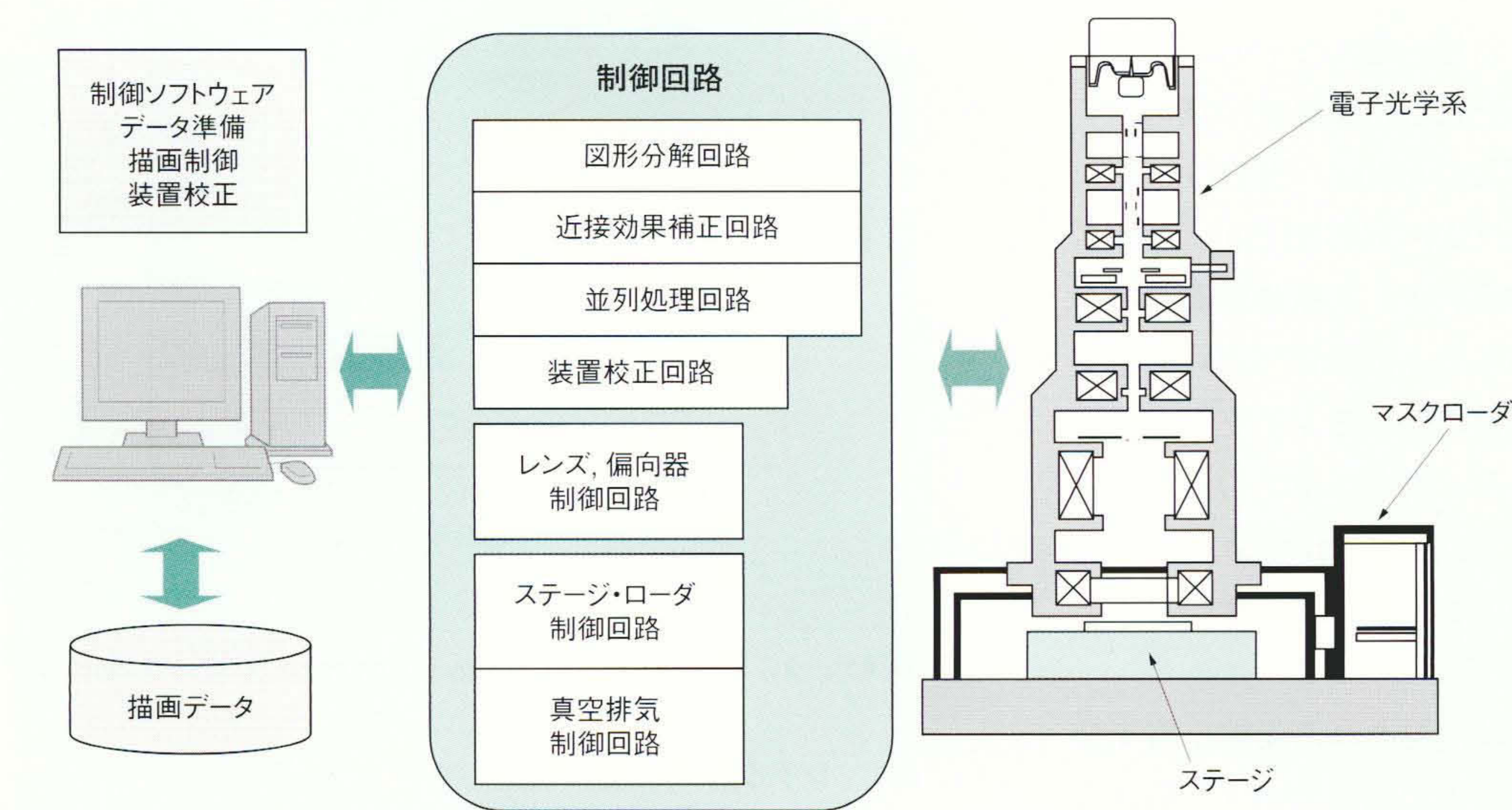
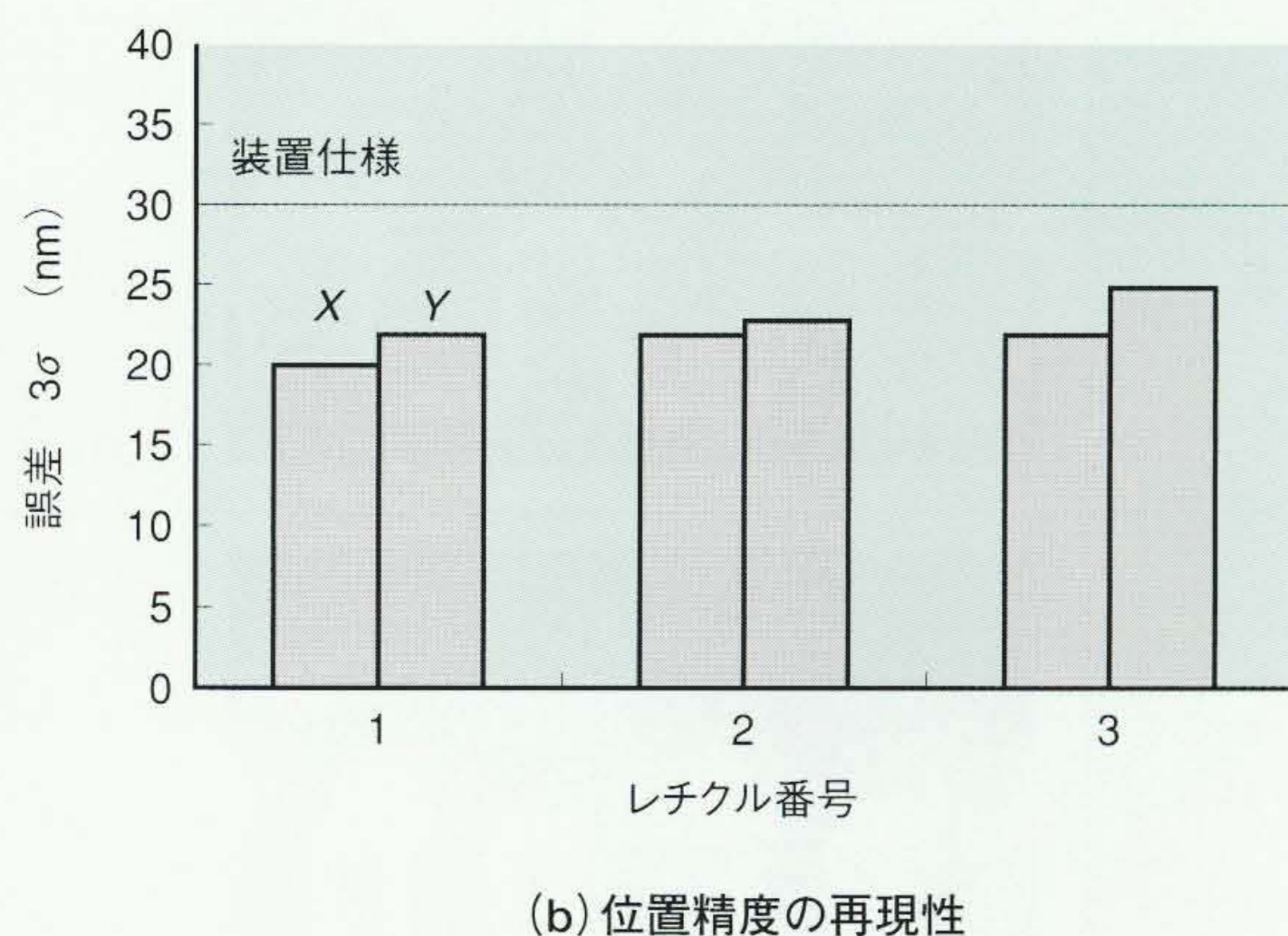
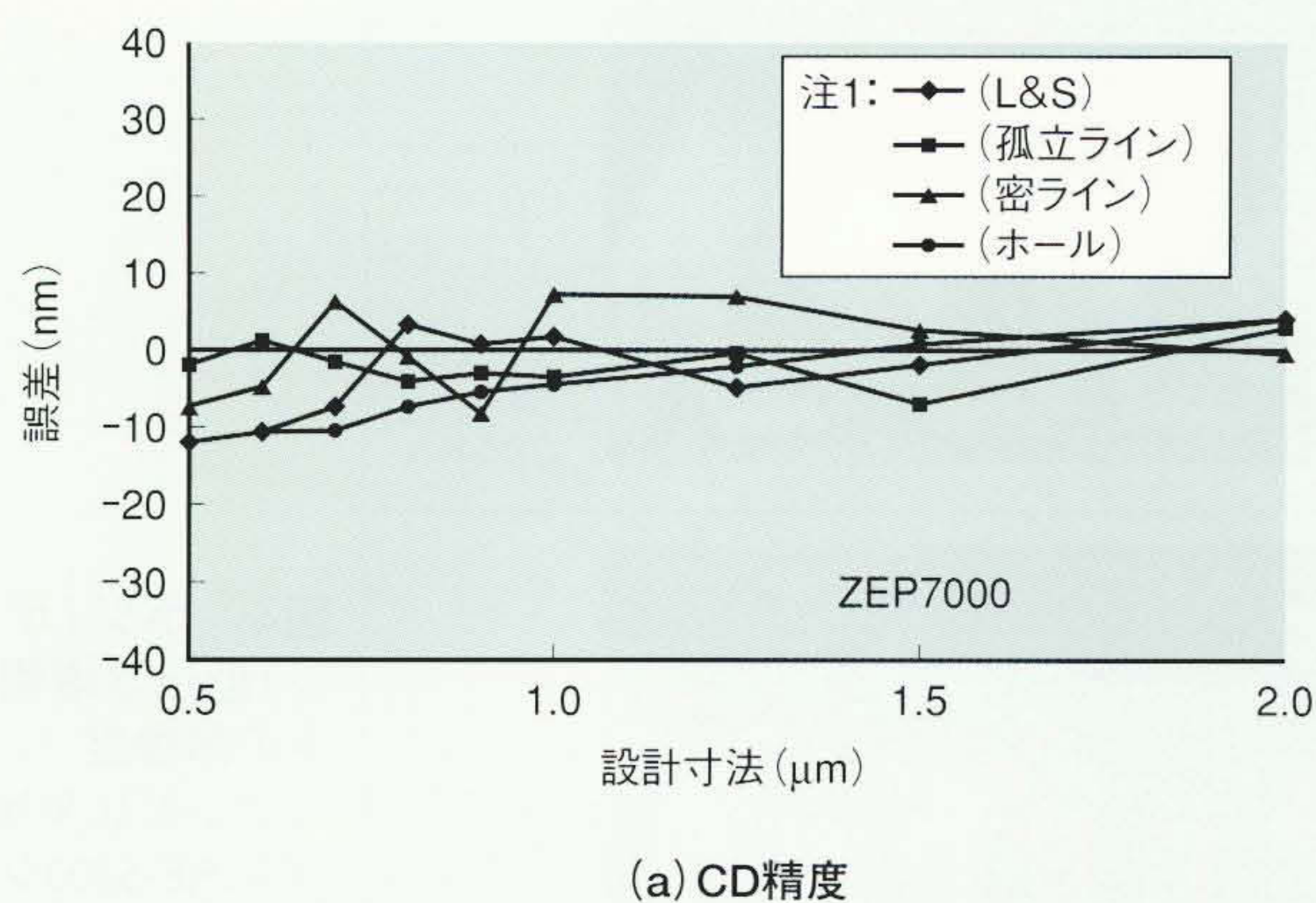


図2 HL-900Mシリーズのシステム構成
電子線描画装置は機械的な部分、電子回路、ソフトウェアなどで構成しており、所定の装置性能を出すためには、すべての部分が機能する必要がある。



注2：略語説明 L&S (Line and Space), CD (Critical Dimension)

図3 評価結果例

電子線描画装置の評価項目のうち、寸法(CD)精度と位置精度の再現性を示す。

干渉計によって高精度に計測されるが、干渉用ミラーはステージ上に取り付ける必要がある。このため、移動中にステージが機械的に変形してミラーの位置がずれると、位置精度誤差の原因となる。ステージ変形は微量であっても、ナノメートルレベルの描画精度を実現するためには、わずかのずれも許されない。今回採用した新形ステージではYテーブルを分離し、トップテーブル上に反射ミラーとプレートを搭載する構造とした。その結果、Yテーブルの変形はトップテーブルに影響を与えなくなったことから、反射用ミラーとマスク間の距離は常に一定となり、位置精度の高精度化を実現した。

上記のほか、剛性の向上、レンズ用コイルの低発熱化、および磁場などの環境変動耐性向上を目的として、コラム構造の見直しと、対物レンズ部の磁場シールドの強化を図った。

これらの改善結果を検証するために、新コラムに対して外部コイルを用いて故意に外乱磁場を加え、そのときの電子ビームの揺れを評価した。その結果、揺れは10 Hzと1 kHzの周波数帯で従来の $\frac{1}{3}$ から $\frac{1}{8}$ となり、外乱に対する耐性が大幅に強化されていることを確認している。装置特性の一例として、CD精度と位置精度再現性の評価結果を図3に示す。両データとも、約15.2 cm (6インチ)マスクにテストパターンを描画した後、エッチングまで処理したプレートを用いて評価した。位置精度は、光学的測定器を用いて評価した3枚のプレートについての結果である。評価範囲は「6インチプレート」の115×115 mmの範囲内である。

3 先端レチクルへの対応

先端マスクの製作では、描画装置の高精度化とともに、描画後のプレートを処理してレチクルまで加工する工程、すなわち、プロセス工程が精度に大きく影響する。この過程に含まれるベーク処理などのレジスト現像工程、エッチング工程、洗浄工程などのうち、レジスト工程での化学増幅レジストについて以下に述べる。

従来用いられてきたレジスト工程では、電子ビーム照射のエネルギーによってレジスト分子の架橋や切断を直接的に行い、感光させていた。これに対して最近では、化学増幅レジスト(CAR: Chemically Amplified Resist)を適用する方法が進められている。

化学増幅レジストは、電子線による照射によってレジスト内に酸を発生させ、その化学反応によって感光過程を進行させるタイプである。化学増幅レジストの特徴は、従来のレジストに比較して感度が高く、また、ドライエッチング耐性が高いことである。例えば、現在広く用いられているポジ(ポジティブ)型レジストであるZEP9000と比較すると、加速電圧50 kVで感度は約3倍高い8 $\mu\text{m}/\text{cm}^2$ であり、ドライエッチング耐性も約2倍である。

化学増幅レジストはこのような利点を備えているが、感光過程に化学反応を使用しているため、保存期間、ベーク条件、処理環境などによる特性変化が大きく、扱いにくいという課題があった。しかし最近、レジストメーカーの努力により、これらの課題に対する改善が図られ、製造現場での使用が検討されてきている。代表的な化学

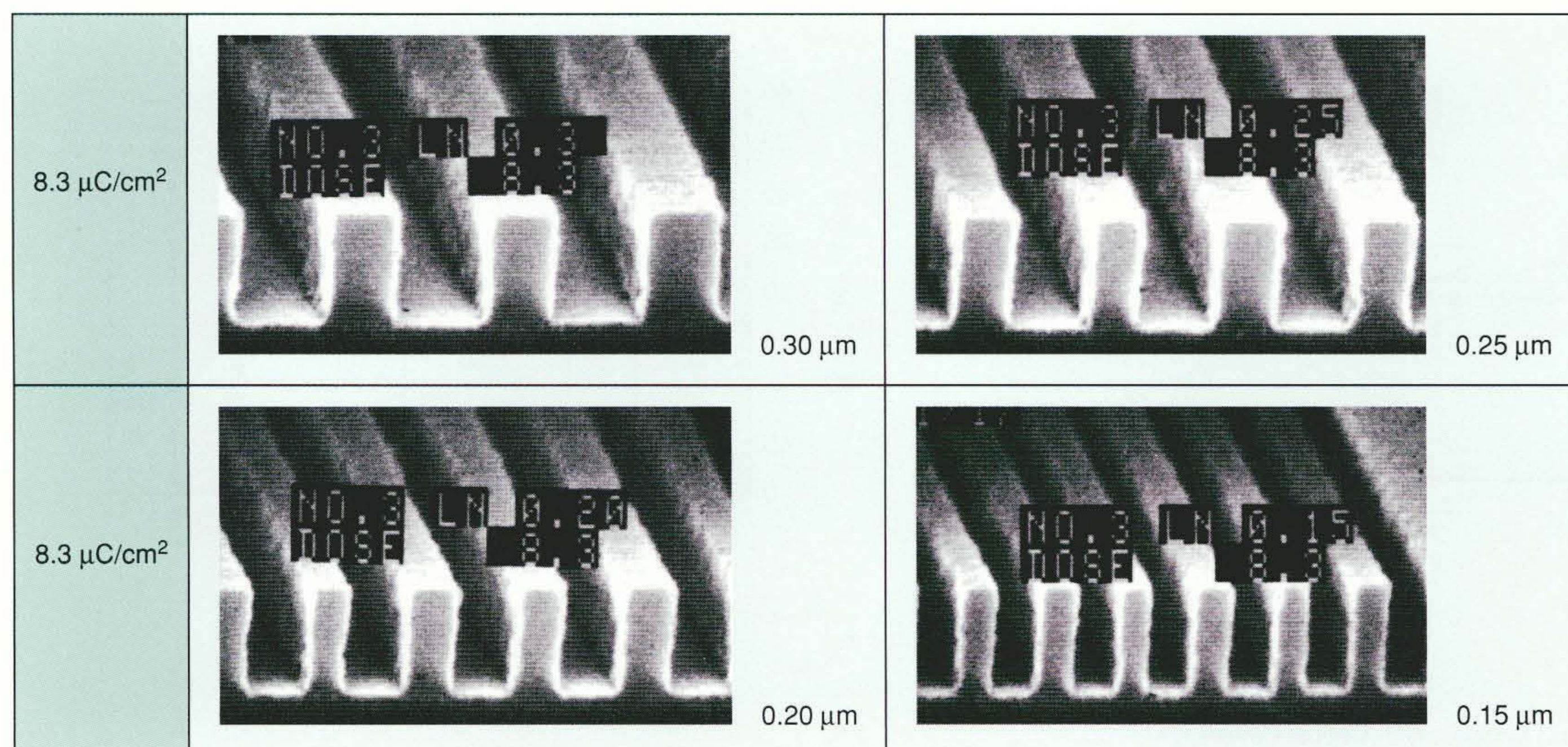


図4 ポジ(ポジティブ)型化学増幅レジストの解像度

ポジ型化学増幅レジスト(RE-5400シリーズ)の解像性を示す。

写真提供：日立化成工業株式会社

増幅レジストの解像度写真を図4に示す。

4 装置の将来像

現在、高精度レチクルを実現できるかどうかデバイス微細化を律速する状況であり、マスク倍率の見直しの論議や新しいレチクル製作方法も提案されている。このような状況にあっても、電子線描画装置の精度の継続的な向上が今後も求められるものと予想され、これに対応していく必要がある。

また、安定した高精度レチクルの製作には、電子線描画装置とプロセスの技術的向上とともに、これら双方での最適条件の早期決定と、不良発生時の短時間解決手段が必要である。このためには、マスク検査装置を含めたシステム化を図り、装置パラメータやプロセス条件に検査結果を短時間で、かつ容易にフィードバックできる手段の実現が求められる。

5 おわりに

ここでは、電子線マスク描画装置「HL-900Mシリーズ」について述べた。

デバイスの微細化はとどまることなく進むと思われる。日立製作所は今後も継続的な技術開発を行い、必要とされる装置を提供していく考えである。

なお、この研究の一部は、通商産業省のプロジェクト「超先端電子技術開発促進事業」の一環として、技術研究組合超先端電子技術開発機構が新エネルギー・産業技術総合開発機構から委託されて実施したものである。

参考文献

- 1) T. Nakahara, et al.: Advanced E-beam Reticle Writing System for Next Generation Reticle Fabrication, Photomask Japan 2000(to be published)
- 2) K. Mizuno, et al.: Electron Beam Mask Writing System for 0.25 μm Device Generation, SPIE Proceedings, Vol. 2793, pp. 452-463(1996)
- 3) Y. Kadowaki, et al.: High Performance and Stability Reticle Writing System "HL-800M," SPIE Proceedings, Vol. 3412, p.58(1998)

執筆者紹介



松岡玄也

1970年日立製作所入社、計測器グループ エレクトロニクスシステム本部 技術部 所属
現在、電子線描画装置の開発に従事
E-mail: genya-matsuoka @ instr. hitachi. co. jp



水野一玄

1984年日立製作所入社、計測器グループ エレクトロニクスシステム本部 第二設計部 所属
現在、電子線描画装置の開発に従事
E-mail: kazui-mizuno @ instr. hitachi. co. jp



中原哲二

1982年日立製作所入社、計測器グループ エレクトロニクスシステム本部 第二設計部 所属
現在、電子線描画装置の開発に従事
E-mail: tetsuji-nakahara @ instr. hitachi. co. jp



佐藤秀寿

1991年日立製作所入社、中央研究所 AT部 所属
現在、電子線描画装置の研究に従事
E-mail: hi-satoh @ crl. hitachi. co. jp