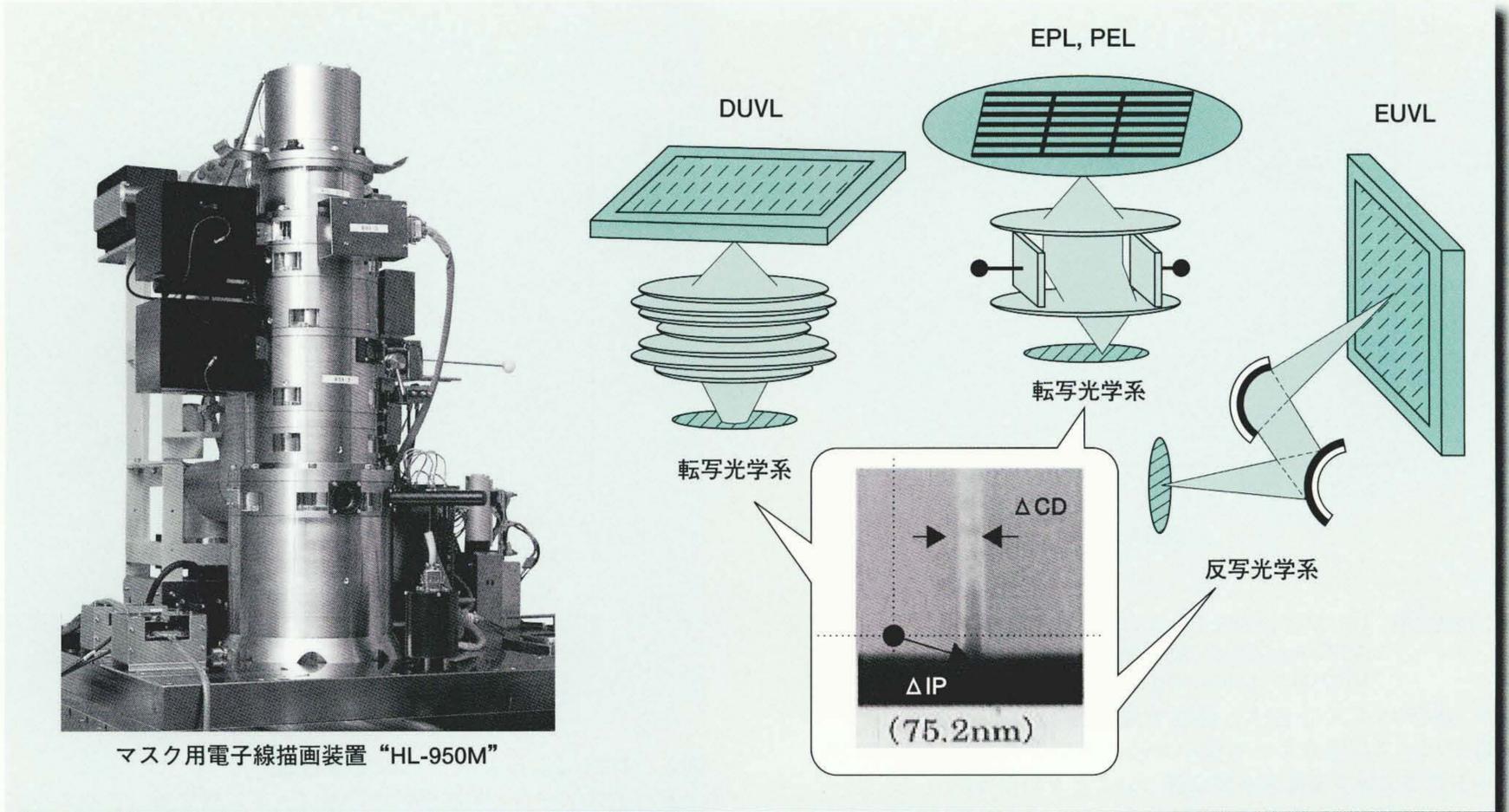


高性能マスク用電子線描画装置

High-Performance Electron Beam Mask Writer

松岡玄也 Gen'ya Matsuoka 水野一亥 Kazui Mizuno
松坂 尚 Takashi Matsuzaka 永田浩司 Kôji Nagata



マスク用電子線描画装置“HL-950M”

注：略語説明 DUVL (Deep Ultraviolet Lithography), EPL (Electron Beam Projection Lithography), PEL (Proximity Electron Beam Lithography), EUVL (Extreme Ultraviolet Lithography), ΔCD (寸法精度), ΔIP (位置精度)

次世代リソグラフィー技術の候補

次世代のリソグラフィー技術として、DUVL, EPL, PEL, EUVLがある。主流はDUVLとなっている。

半導体の微細化に伴い、パターン形成のためのリソグラフィー工程としての各種の技術が検討されている。使用するマスクも、光リソグラフィーではガラス基板であり、電子線を用いた方式ではSiのステンシルマスクである。また、EUVL (Extreme Ultraviolet Lithography) では、ガラス基板上に反射膜が形成されたマスクを用いる。したがって、いずれの場合も、マスクの製作には電子線マスク描画装置が必要である。

日立グループは、微細化が進む半導体デバイスの開発ロードマップの将来を見据えた、各種の半導体製造装置の開発を進めている。

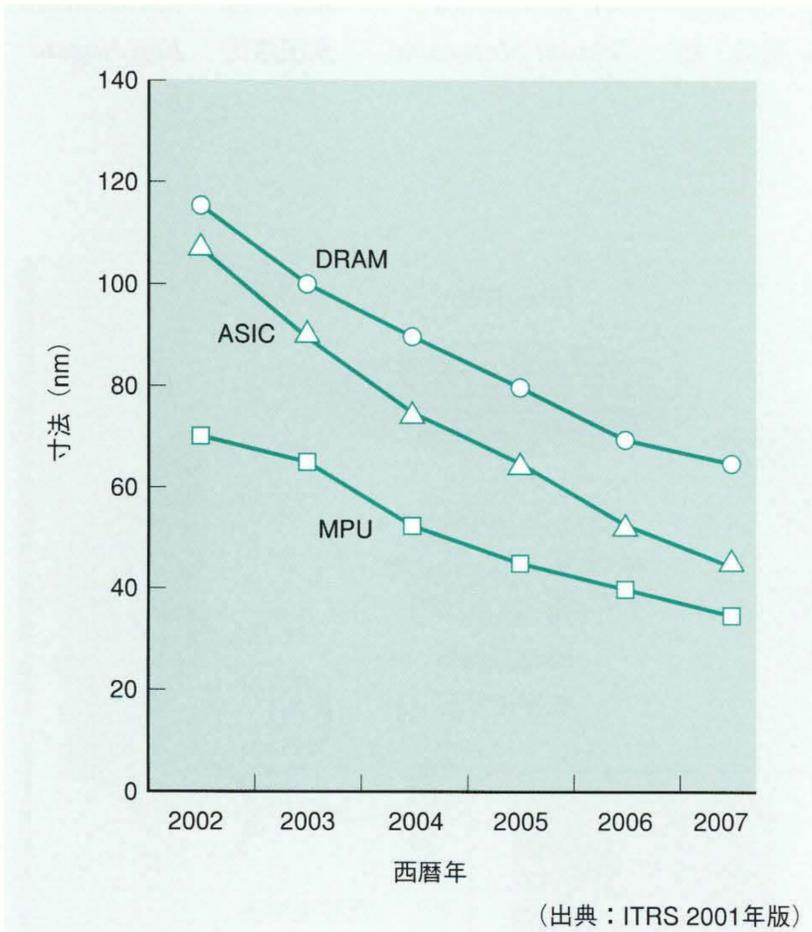
1 はじめに

半導体デバイスの微細化は急速に進んでおり、開発ロードマップも、それ以前のロードマップを常に前倒しにする形で見直されている。例えば、ITRS (International Technology Roadmap for Semiconductors) 2001年版でも、従来の開発計画は約2年前倒しとなっている(図1参照)。

それによれば、2002年で要求される最も微細なパター

ンは100 nm以下となっており、数年後には50 nmのレベルに達すると予想されている。このように、急速に微細化が進むデバイスをいかにコストに見合う方法で製造するかが課題となってきている。

光リソグラフィー技術の延長であるKrF, ArF, F2, EUVL (Extreme Ultraviolet Lithography) や、電子線を用いたEPL (Electron Beam Projection Lithography), PEL (Proximity Electron Beam Lithography) などではいずれも転写露光を用いるこれから、マスクを必要とす



注：略語説明 DRAM(Dynamic Random Access Memory)
 ASIC(Application Specific IC)
 MPU(Microprocessing Unit)

図1 各デバイスにおける要求寸法精度

各デバイスに要求される微小寸法のトレンドを示す。ASICのゲート寸法に対する要求が特に厳しいことがわかる。

る。KrFやArFを用いるリソグラフィーとその他のリソグラフィーとは用いるマスクの構造が異なり、それを作成するための電子線描画装置も異なった構成を必要とする。しかし、これらの露光技術はまだ実用の域まで達しておらず、マスク製造も試作段階である。

ここでは、従来用いられている、ガラス基板を対象とした電子線描画装置のマスク露光装置の現状と課題について述べる。

2 高性能マスク機の必要性和要求ニーズ

100 nmノードのデバイスを生産するための主力リソグラフィー装置はKrFとArFを用いるものであり、このためには、石英ガラスを基板としたレチクルが必要となる。しかし、デバイスの微細化が進むにつれ、レチクルに対する要求仕様も急速に厳しくなっている。ITRSが示したレチクルに対する要求仕様のトレンドを図2に示す。

この要求仕様で特に厳しいのは寸法の均一性である。100 nmノードでのガラス面内で約6 nmという厳しさである。しかも、この値は完成したレチクル上での精度である。レチクル製造には描画装置で露光後に現像やエッチ

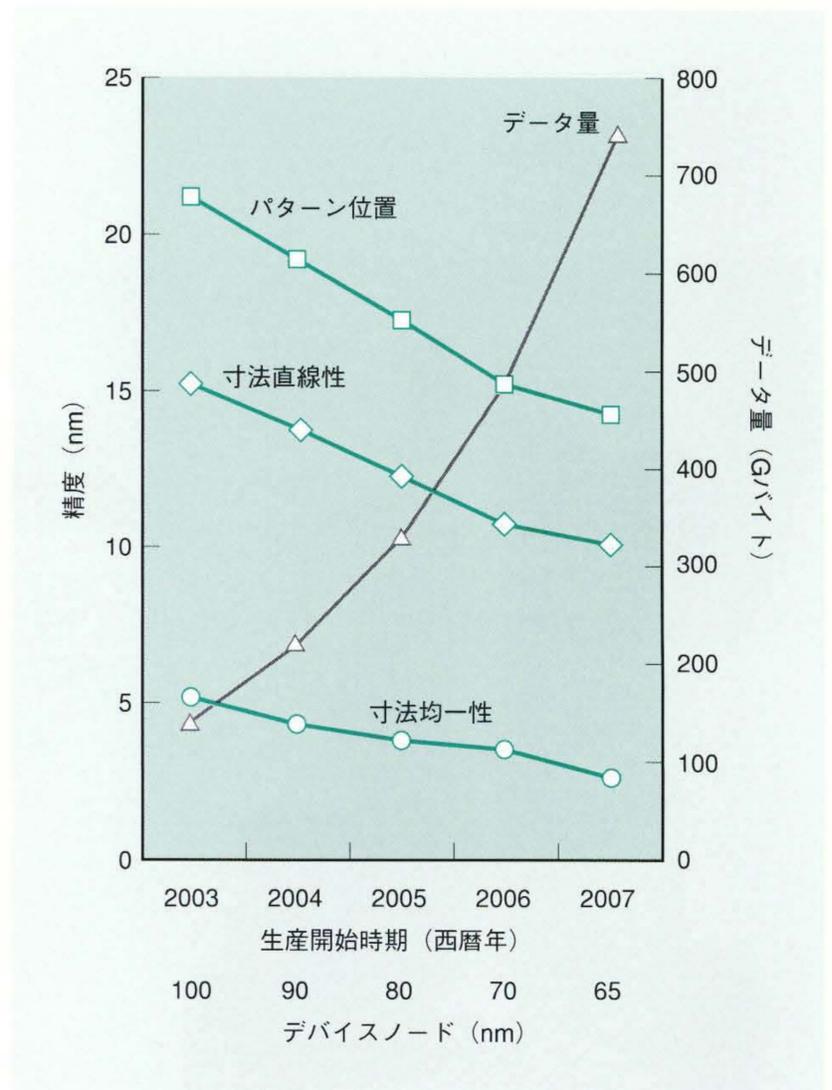


図2 ITRSによるマスクへの要求仕様

デバイスノードと生産開始年、各ノードに対するレチクルへの要求精度、およびデータ量のトレンドを示す。パターン位置、寸法直線性、寸法均一性の各精度のうち、均一性への要求精度が厳しい。また、データ量が飛躍的に増加する傾向にある。

ングなどの工程があるため、これらの工程を考えると、装置自体に許される精度はさらに厳しいものとなる。

もう一つの考慮すべき点は、データ量である。図2に示すように、100 Gバイトを超えるデータの処理が必要になる。このことは、電子線描画装置がこのような大量のデータを単に処理できるだけでなく、ある時間内に描画できる能力を持つことが求められていることを意味する。さらに、装置が今後数年間にわたって利用されることを考えると、扱うべきデータ量は500 Gバイトレベルを想定しなければならない。

これらのロードマップなどに示される必要精度やデータ量を考慮し、100 nmノードに対応できる電子線マスク描画装置を提案できるものとする。

3 マスク機の構成、特徴、および性能

3.1 電子線描画装置の構成

株式会社日立ハイテクノロジーズの電子線描画装置では加速電圧50 kVを採用しており、使用するビームの形

状は可変成型ビームである。偏向方式としてベクタ走査を採用している。

電子線描画装置は、異なる分野の高度な技術を集約した装置である。その構成は、以下の部分に大別することができる(図3参照)。

(1) 電子光学系

電子光学系は、電子線を発生させる電子銃、電子線の形状形成や偏向を行う偏向器、電子線のピントを絞る電子レンズなどで構成する鏡筒で、電子線の基本的な特性を決定する部分である。

(2) 機構系

描画対象であるガラスプレートを扱う部分で、ロード・アンロードを行う搬送システム、描画時にプレートを移動するステージ、プレートを保持するパレットなどから成る。ステージの位置は、レーザ干渉測長計によって正確に制御する必要がある。ステージの機械精度は通常数ミクロンであるため、その位置誤差は、さらに精密に制御できる偏向信号にフィードバックされる。レーザ干渉測長計では精密な計測が可能であることから、装置制御の校正にも用いられ、一種の基準器の役割を担っている。

(3) デジタル回路系

主としてデータをハンドリングする回路である。圧縮されている入力データを展開した後、所定の図形に分解する。また、描画位置や図形ごとの照射量の補正などを行って描画の図形を作成する。大量のデータを扱うことから、高速にデータを処理する能力が必要とされるとともに、高信頼性が求められる。

(4) アナログ回路系

電子線の焦点を決めるレンズ、電子線の軸を調整するアライナ、電子線のオンオフを制御するブランカ、電子線の位置を制御する偏向器などを扱う回路である。電子線描画装置で電子線を直接制御する回路であるだけに、回路の特性が描画結果にそのまま影響する。

(5) ソフトウェア

電子線描画装置には、装置制御やデータ処理用のワークステーションのほかに、複数のマイクロプロセッサが使用されている。これに組み込まれているソフトウェアによって各種の補正処理も行われているので、描画精度に重要な役割を果たしている。

(6) その他

電子線の通路は真空にする必要があるため、電子光学系や試料室などは排気されている。真空度は、装置の安定稼働や電子銃の寿命に影響する。高精度描画を実現するためには、装置が電氣的に安定であるとともに、機械的にも安定であることが求められる。このため、電子光学系や試料室などは、除震機能を持つ台の上に取り付けられる。

(7) 設置環境

装置がいかに高精度に調整されていても、設置する場所の環境が一定の条件を満たしていないと、所定の性能を実現するのは困難となる。環境としては、磁場の変動、床振動、温度変動が所定の許容値以下であることが必要である。また、高精度な装置であることから、回路アースが非常に重要である。電子線描画装置には1種と3種のアースが必要である。そのうち1種アースは、他の装置

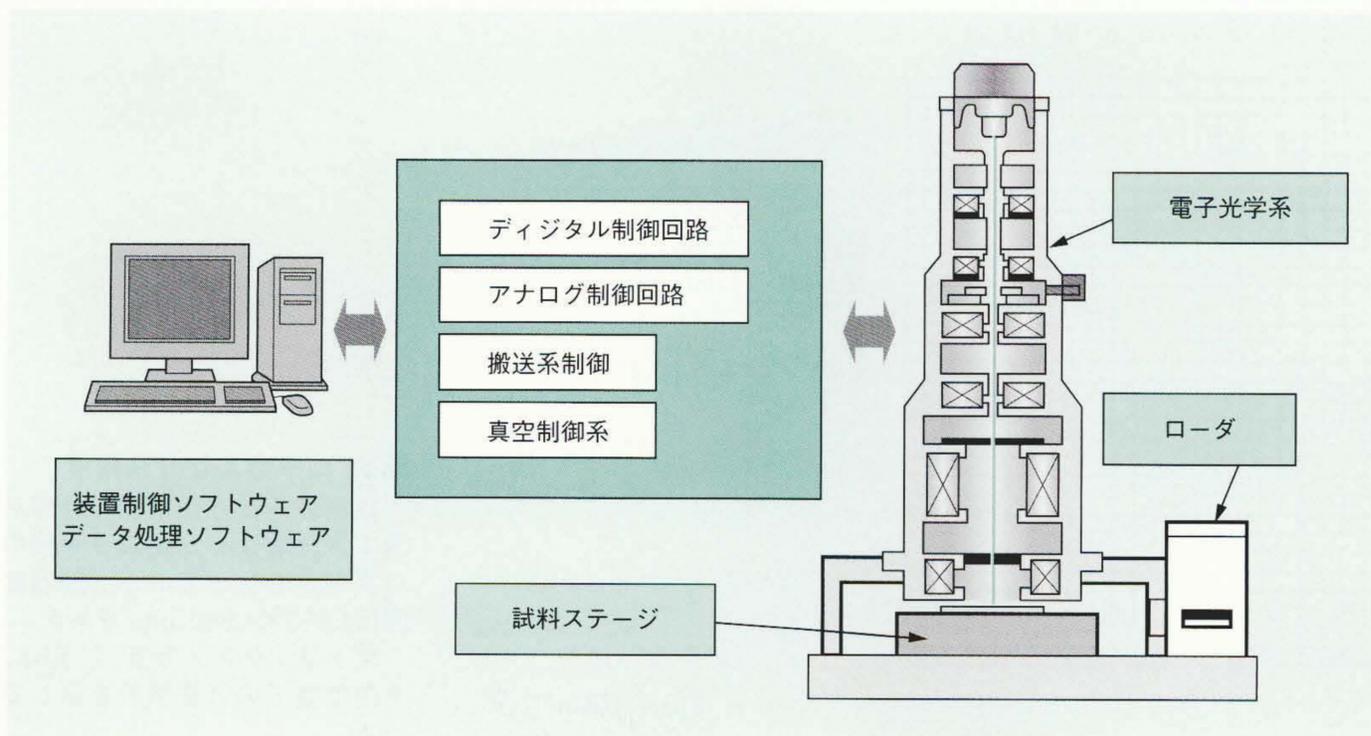


図3 電子線描画装置の基本構成

電子線描画装置の基本的な構成を示す。電子線を扱う電子光学系、試料を扱うローダ・ステージ、データを処理し電子線を制御する制御回路、装置を制御するソフトウェアシステムなどで構成している。

とは独立している必要がある。他装置と共用すると、たとえ1種であってもアース電位の変動や雑音のために偏向信号が影響を受け、所定の性能が実現できないことがある。

最近、高精度レチクルを実現するために、描画に関連したプロセスも改良されてきている。その一つは、化学増幅レジストの導入である。化学増幅レジストは、電子線照射後にレジスト内で化学反応を生じさせ、これによって高感度化を図ったレジストである。ドライエッチングに対する耐性があるので、ドライエッチングによる高精度パターンの形成に適している。しかし、化学増幅レジストは、大気中のアミンによって解像度が劣化する傾向がある。このため、化学増幅レジストを用いる場合は、装置の設置場所を、これらの不純物を取り除いた環境にする必要がある。

3.2 マスク機の特徴

電子線マスク描画装置に必要な主な性能として、(1) 高精度な描画パターン寸法の実現、(2) パターン位置精度の正確さ、(3) 高スループット、(4) 大容量のデータへの対応などがあげられる。そのほか、信頼性が高く、メンテナンスが容易で、そのための時間が短いことも重要である。

これらの性能を実現するために、各種のくふうを凝らしている。パターン寸法精度の実現には、まず、電子線形状やその位置の高精度制御と安定化が必要である。このためには、安定した電気信号を実現するとともに、偏向器の周囲のシールドを強化することにより、外部から

の雑音に影響されないようにしている。また、電子線の反射によって発生するフォギング効果(電子線の散乱によるかぶり効果)や近接効果(パターンの疎密に依存する寸法変化)など、寸法精度を劣化させる要因を補正する機能を持たせている。

さらに、長方形ビームや偏向領域の接続部では、寸法精度が劣化しないようなデータ処理を行っている。

位置精度の向上策の一つとして、ガラスプレートを安定に、しかもガラス基板にひずみを与えずに固定するためのパレットを用いている。また、温度膨張による機械的位置変動を抑えるために、ステージやパレットには熱膨張を考慮した材質を使用するとともに、ステージ、レンズ、モータなどの熱発生源の水冷化を行っている。

大容量データ量への対応としては、階層化によるデータ圧縮や高速データ転送機能を持たせることにより、データのハンドリング時間を抑えるようにしている。また、データを処理する回路の高速化や偏向器の応答時間の短縮などを行うほか、描画データを準備する回路を複数設け、これらによって描画とデータ準備とを並列に処理することで高速化を図っている。

光リソグラフィーで微細なパターンを忠実に再現するには、OPC(Optical Proximity Correction: 光学的近接効果補正)と呼ばれる補助パターンが必須となってくる。しかし、この補助パターンの付加によってデータ量は本来のパターンの数倍に膨らむことになる。このため、今後のマスク機では、数十ギガバイトといった大容量のデータを処理する必要がある。これだけのデータを一度に

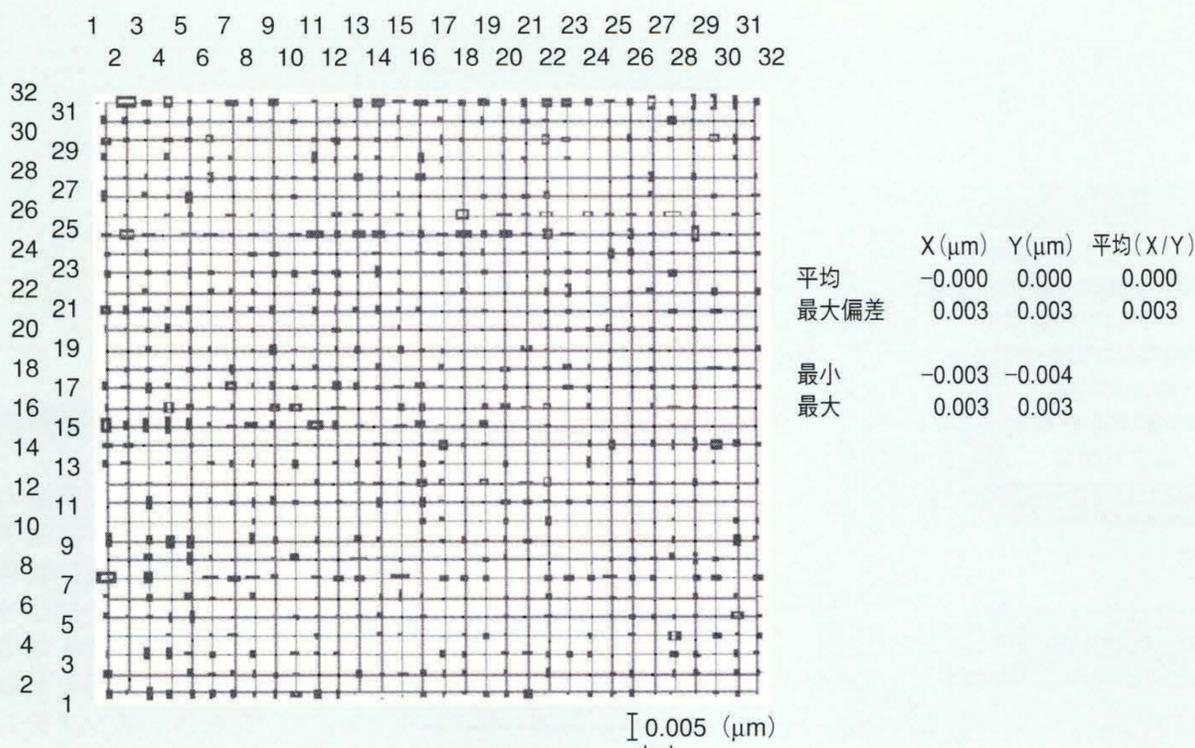


図4 ローカルな寸法精度

ローカルな寸法精度の分布を示す。評価はドライエッチ後のパターンで行っている。評価範囲は1,860×1,860(μm)である。

マトリクス上の矩(く)形は、その位置での寸法誤差を示している。

処理できる機能を設けると、回路自体が大きくなり、装置規模が大きくなるとともに、信頼性の低下の要因となる。したがって、データを一度に処理しないで、部分ごとに分けて処理することにより、大容量データへの対応を図っている。

3.3 マスク機の性能

マスク機の基本的性能には、寸法精度の均一性、パターンの位置精度、高スループットなどがある。これらのうち、これまでに得られたデータの幾つかについて以下に述べる。

ローカルな寸法精度を図4に、プレート面内の寸法精度を図5(a)にそれぞれ示す。高精度な寸法を実現するためには、描画装置の性能だけでなく、現像やエッチングといったプロセスとのマッチングが重要である。例えば、描画後のプロセス処理で一定の傾向を持ったエラーが生じる場合は、その傾向を描画装置にフィードバックし、描画時に補正することも可能である。その一例を図5(b)に示す。プレート上のパターン寸法に一定の傾向のエラーがある場合に描画時に補正を行い、寸法精度を向上させる機能をシミュレーションした結果である。

4 次世代描画装置へのコンセプト

光リソグラフィーの延命化により、ガラスプレートを基板とするレチクルの需要は今後も続くものと考えられる。しかし、上述のように、要求精度はますます厳しくなるとともに、扱うデータ量は膨大になってくる。それにもかかわらず、精度やコスト面の条件を満たしたうえで、一定時間内に描画が終了することが求められている。この要求を実現するには、たゆまない新技術の開発と導入が必要である。また、データに関しても、コンパクトなデータフォーマットを実現し、スループットがデータハンドリングに律則されなくふうが必要である。

レチクルの製造では、原則的に全品検査が行われる。したがって、描画装置と検査装置との連携を深め、効率よく検査ができるようにするとともに、検査結果の解析や描画装置へのフィードバックを容易にすることも重要である。今後は、描画装置、プロセス装置、検査装置、および修正装置間でのデータや結果が共有化され、それぞれの工程が適切に処理されるように管理システムが構築されていくものと考えられる。

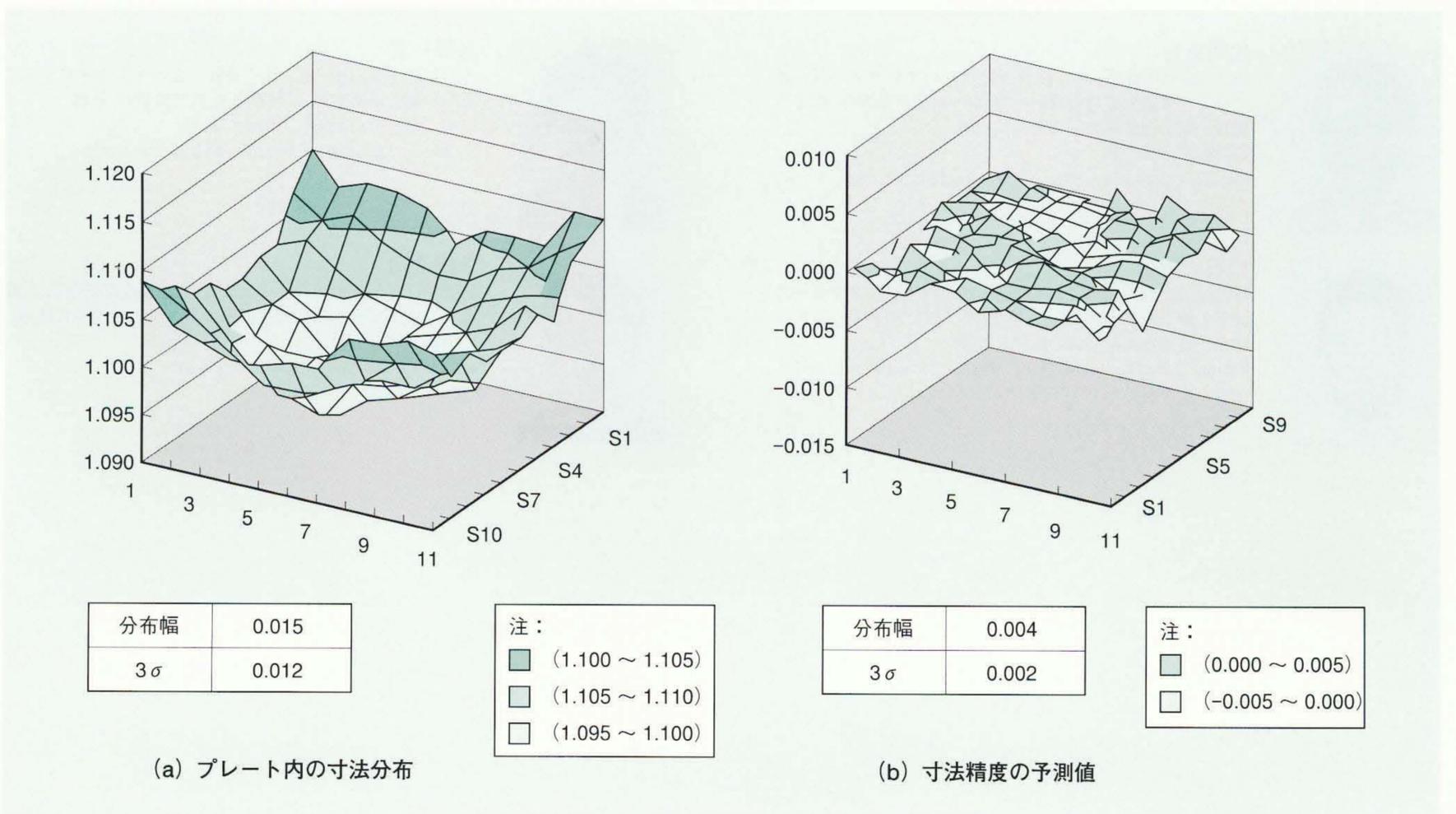


図5 グローバル寸法精度

(a)での評価はドライエッチ後のパターンで行っている。評価範囲は115.2×115.2(mm)である。(b)は、(a)に示した寸法分布を基に電子線描画装置で補正を行った後に得られる寸法精度の予測値を示す。寸法分布に再現性がある場合には、電子線描画装置で補正を行うことができる。

冒頭の章で述べたように、100 nm以下の領域でのリソグラフィーツールとして、EUVLや電子線を用いた転写装置が提案、開発されている。これらの装置のうち、特に転写装置で用いられる、シリコンウェーハを用いたステンシルマスクは、従来のマスクとは対象となる試料が異なるため、装置としてもそれに対応する必要がある。

株式会社日立ハイテクノロジーズは、Si基板に描画するための電子線描画装置を長年にわたって製造しており、これらは、すでにステンシルマスクの製造に用いられている。今後、この経験を基に、最適化した装置の開発を進めていく考えである。

5 おわりに

ここでは、高性能マスク用電子線描画装置^{※)}について述べた。

電子線マスク描画装置は、デバイス製造過程で重要な位置を占める、リソグラフィ工程に用いられるレチクルを製造する装置である。すべてのデバイス製造がパターンニングから始まることを考えると、マスク機は、今後のデバイス開発の根幹を担っていると言える。

執筆者紹介



松岡玄也

1970年日立製作所入社、株式会社日立ハイテクノロジーズ
デバイス製造装置事業統括本部 第一事業企画本部 所属
現在、電子線描画装置の開発に従事
応用物理学会会員
E-mail: matsuoka-genya@nst.hitachi-hitec.com



松坂 尚

1977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 第二設計部 所属
現在、電子線描画装置の開発に従事
E-mail: takashi-matsuzaka@naka.hitachi-hitec.com

日立グループは、急速に進むデバイスの微細化に対応するために、装置メーカーとしての努力はもちろんのこと、これまで以上に重要度を増してきたユーザーとの協力を進めていく考えである。

参考文献

- 1) A. Fujii, et al.: Advanced e-beam Reticle Writing System for Next Generation Reticle Fabrication, Proceedings of SPIE, Vol. 4099, pp.258-269(2001)
- 2) G. Matsuoka, et al.: Electron Beam Mask Writer for Next Generation, HTCP2001
- 3) H. Satoh, et al.: Technologies for Electron Beam Reticle Writing Systems for 130 nm Node and Below, BACUS2001

※) この研究の一部は、旧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(NEDO)から委託されて実施したものである。



水野一玄

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 第二設計部 所属
現在、電子線描画装置の開発に従事
E-mail: mizuno-kazui@naka.hitachi-hitec.com



永田浩司

1993年日立製作所入社、中央研究所 先端技術研究部 所属
現在、電子ビーム描画装置の制御システムの開発に従事
応用物理学会会員
E-mail: knagata@crl.hitachi.co.jp