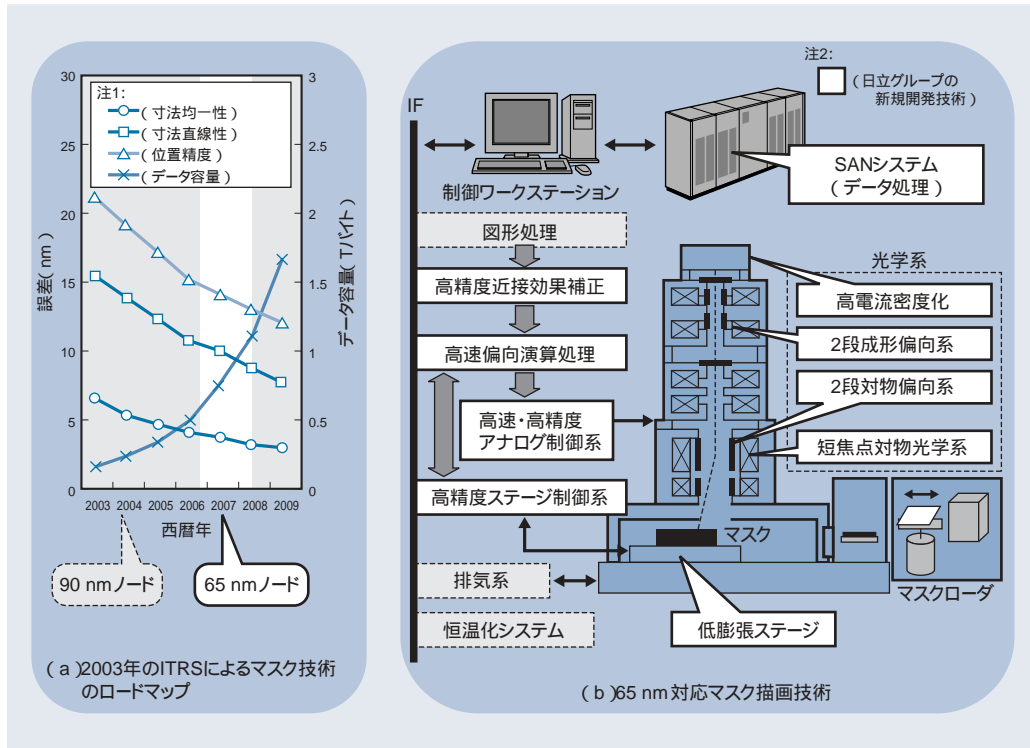


# 65 nm ノード対応マスク用電子線描画技術

## Advanced Electron Beam Lithography System for 65 nm Node Mask Drawing

川野 源 Hajime Kawano      大貫 和喜 Kazuyoshi Onuki  
 門脇 康浩 Yasuhiro Kadowaki      太田 洋也 Hiroya Ota



65 nm ノードで要求される仕様と、それを実現するための電子線マスク描画技術の概要

2003年のITRSの65 nm ノードにおけるマスク描画への要求仕様は、90 nm ノードに比べ、精度では約30%、データ容量では2倍以上とされている。日立グループは、65 nm 対応マスク描画のためのさまざまな新規技術を開発している。

注3: 略語説明  
 ITRS (International Technology Roadmap for Semiconductors)  
 IF (Interface)  
 SAN (Storage Area Network)

半導体製造装置には、高精度と高い生産性が同時に求められる。これは、KrFやArFの紫外光源で用いられるマスク技術にも言えることである。日立グループが開発したマスク用電子線描画装置「HL-7000Mシリーズ」は、新光学系、新補正技術による高い寸法制御と、ステージの高精度化や温度制御技術などによる高い位置制御性を持つことで、高精度化を実現している。また、微細化に伴うテラバイト相当の大容量データに

対してはSANシステムを適用し、これまで分散化していたデータの一元化、データの管理や変換処理の高速化を行うことでユーザーの負担を軽減している。さらに、65 nm ノード世代だけでなく、既存製品が多くを占める現在の世代のマスク生産ラインにも対応できるように、高電流密度化、偏向演算の高速化技術などを採用し、システムの高スループットを図っている。

### 1 はじめに

LSIの高集積化、高機能化は常に進展し続けており、近年デバイスの微細化が急速に進んでいる。2003年のITRS (International Technology Roadmap for Semiconductors)によれば、2004年に90 nm ノード、2007年に65 nm ノードの生産が予想されており、半導体デバイスメーカーはそれらをターゲットにした開発を進めている。KrFやArFの紫外光源を用いたデバイス開発がこれらの世代の主流と言われているが、いずれにおいてもマスク描画技術の発展が望まれており、装置の高精度化は必須である。

現在、生産ラインに適応されているのは90 nm ノード以前のマスクが主流であり、今後数年にわたって生産が続くと予想される。そのため、従来のマスクの生産性維持と、次世代マスク開発も並列して行える、高い精度と高い生産性、高スループット、高信頼性を兼ね備えたマスク描画装置が必要となる。

ここでは、これらのニーズを踏まえて日立グループが開発した、65 nm 対応マスク用電子線描画装置「HL-7000Mシリーズ」の基本性能と、新機能のトピックについて述べる。

ここで、これらのニーズを踏まえて日立グループが開発した、65 nm 対応マスク用電子線描画装置「HL-7000Mシリーズ」の基本性能と、新機能のトピックについて述べる。

## 2 高精度化に向けての課題と新技術

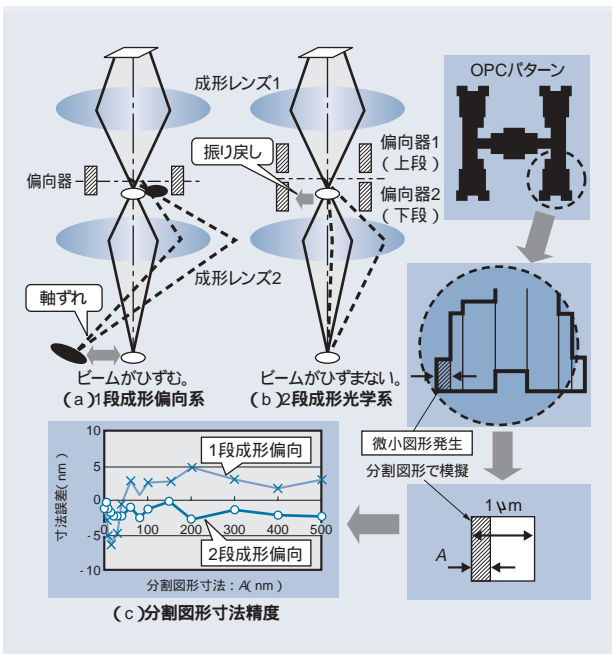
### 2.1 新光学系による寸法制御性の向上

寸法精度については、近年、寸法直線性の向上だけでなく、光近接効果を補正するために付加しているOPC (Optical Proximity Correction) パターンの寸法制御性が問題となっている。OPCパターンでは、小さなもので数ナノメートル程度の微小図形が発生するため、ビームの解像性なども考慮した、以下の要件を満たす光学系設計が必要となる。

#### (1) 2段成形偏向による寸法制御性の向上

ビーム成形光学系では、寸法制御を行う偏向器の製作誤差などによる軌道の軸ずれが問題となる。つまり、与えられた偏向電圧に対し、高次のひずみ現象が生じ、寸法精度を悪化させる要因となりえる。新光学系では上下2段から成る成形偏向系を採用し、下段の偏向系で振り戻し、軸ずれを修正することで線形の制御を行い、寸法直線性とOPCパターンの精度を向上させている。2段成形偏向の原理と、OPCパターンを模擬した分割図形での寸法精度の改善効果を図1に示す。2段成形偏向により、軸ずれに伴うビームひずみを改善することができ、OPC模擬パターンである分割図形パターンでも、寸法誤差を3.6 nm以下に抑えることができる。

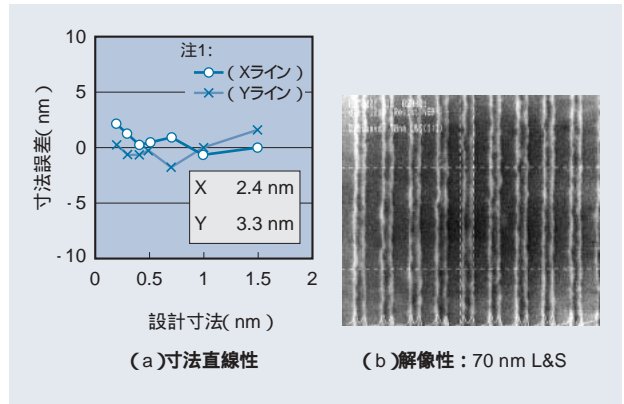
#### (2) 短焦点対物レンズによる高解像度化



注：略語説明 OPC (Optical Proximity Correction)

図1 2段成形偏向系によるOPCパターンへの対応

偏向器の製作誤差などの原因から、偏向に伴って軸ずれが生じ、ビームがひずんでいる状態 (a)、上下段の偏向量を調整することで軸ずれ分を振り戻しているため、ビームがひずまない仕組み (b)、およびOPCパターンを模擬した分割図形 (1 μm 孤立ライン) の寸法誤差 (c) をそれぞれ示す。1段成形では寸法のばらつきが生じているのに対し、2段成形では、ビームのひずみが少なく、寸法のばらつきが少ない結果を得ている。



注2：略語説明 L&S (Line and Space)

図2 HL-7000Mシリーズの寸法直線性と解像性評価結果例

0.2 ~ 1.5 μmの孤立ラインの寸法直線性 (a) と、L&Sパターン (レジスト：NEB22、300 nm厚) での解像性評価結果例 (b) を示す。

また、対物光学系ではレンズを小型化、短焦点化することで、高電流密度でビームぼけを低減し、高解像度化を図っている。寸法直線性と解像性の評価例を図2に示す。寸法直線性も3.3 nm以下であり、解像性でも70 nm L&S (Line and Space) の良好な精度が得られている。

#### (3) 静電2段対物偏向系による偏向制御性の向上

マスク面内の寸法ばらつきを抑制するため、偏向制御技術も見直した。偏向系の構成を静電2段 (主偏向と副偏向) とし、高精度・高速アンプを開発することで高い制御性と高速化の両立を図った。静電偏向は小偏向領域 (~ 40 μm) では100 ns以下、大偏向領域 (~ 1 mm) においても数マイクロ秒以下での高速動作ができるという特徴を持つ。

さらに、2段の偏向系をともに低収差の8極子とし、非点補正を行うことでビームひずみを低減し、偏向時の寸法ばらつきを改善している。この結果、マスク面内での寸法均一性は、2.7 nm以下を実現している (図3参照)。

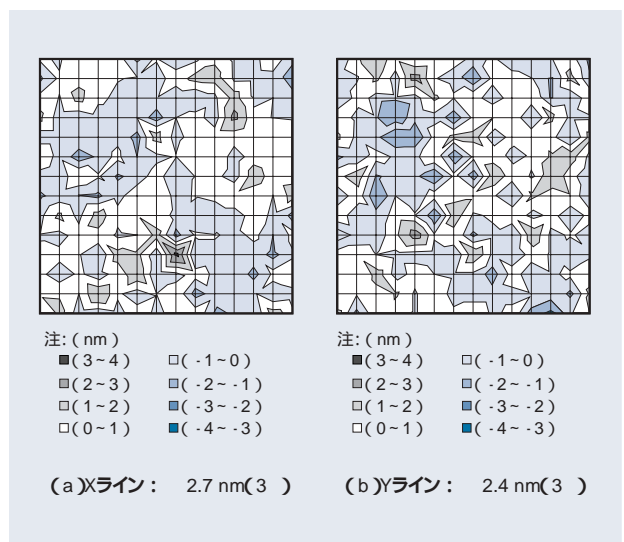
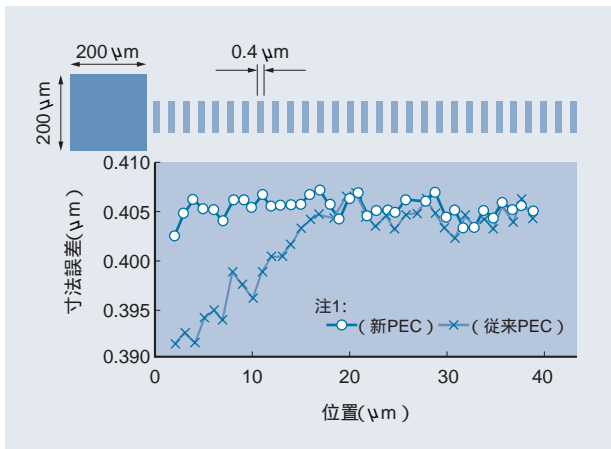


図3 マスク面内寸法分布例

マスク面内 (130 mm角) の1 μm 孤立ラインの寸法均一性 (ただし、プロセスエラーを除去している) の評価結果の例を示す。



注2：略語説明 PEC Proximity Effect Correction；近接効果補正)

図4 近接効果補正結果例

大面積パターン(200 μm×200 μm)からの密度急変部における寸法変動を、従来PECと新PECで比較した結果例を示す。

## 2.2 近接効果補正の高精度化

電子ビーム露光では、パターン密度が変化すると、密度に応じてビームの堆(たい)積エネルギーが変化するため、寸法変動が生じる。この誤差を低減する方法がPEC(Proximity Effect Correction：近接効果補正)である。マスク描画では、パターンをマイクロメートル単位のグリッドに分割した面積密度から、電子ビーム散乱を模擬したフィルタ演算処理によって堆積エネルギーを求め、適正な露光量補正を行う方法が、処理速度の点で有効である。しかし、この方式では密度変化が激しいほど演算誤差が生じ、近年の寸法精度要求に対して高次の補正項を考慮する必要が出て来た。

新たに開発した露光量補正では、密度変化時の堆積エネルギーをあらかじめ計算し<sup>2)</sup>、従来の露光量に補正を加えることで、寸法誤差を改善している。密度急変部を含むパターンにおける新旧のPECの評価結果を図4に示す。大面積付近では、露光量が不足し、寸法が細る傾向があった。これに対しては、補正露光を加えることで、寸法精度を向上させている。

## 2.3 ステージ制御の高精度化と材質の低膨張化

位置精度に関しては、偏向制御の安定化に加えて、装置の温度管理を強化し、環境変動に強いシステムとした。特に、温度変動に強いステージ材に変更するとともに、ステージ制御の高精度化を図っている。

マスク描画は、プレート位置をレーザ干渉計によって測長し、これを制御系にフィードバックしながら行う。そのため、測長の精度とステージ移動時の摩擦熱による膨張が、位置精度を悪化させる要因となる。

これに対しては、レーザ干渉計の分解能を0.3 nm以下にすることで測長精度を向上させ、さらに、ステージ材質を膨張率で従来比の $\frac{1}{3}$ 以下とすることで温度影響を最小限にし、位置精度を向上させている(図5参照)。

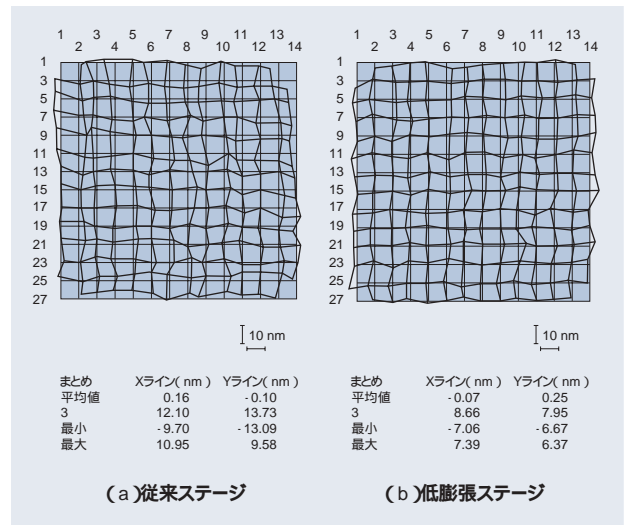


図5 位置精度の例

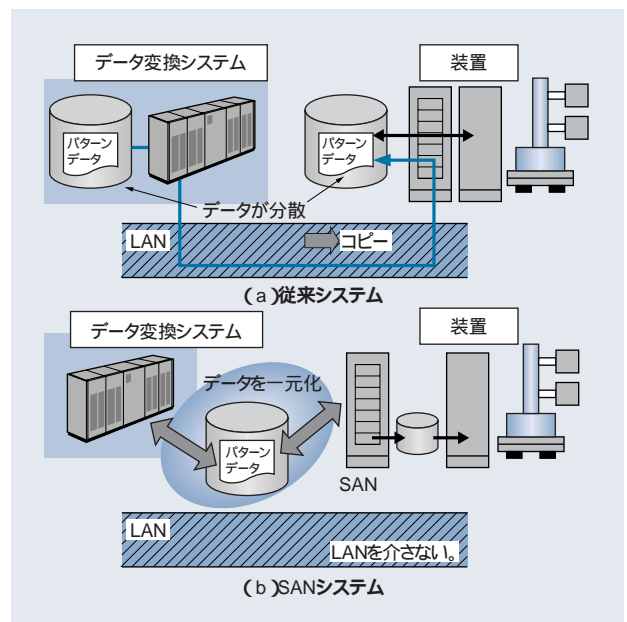
ステージ材質変更前後の位置精度評価結果(IPRO測定130 mm角, 10 nm・目盛)を示す。ステージに低膨張材を使用することで、13.7 nmから8.7 nm(3)に改善した。

# 3 データの大容量化とSANシステムの適応

微細化に伴ってデータ量も増大するため、大容量のデータを管理、処理するための施策が求められる。

従来のシステムでは、LAN(Local Area Network)を用いて描画するパターンを装置内部のハードディスクに登録(コピー)していたため、以下の課題があった。

- (1) 転送時間がLANのスピードに大きく影響される。
- (2) 大容量のデータ転送を行うと回線が占有される。



注：略語説明 LAN(Local Area Network), SAN(Storage Area Network)

図6 従来システムとSANシステムの構成比較

従来のLANを用いたシステム(a)と、SANを用いたシステム(b)の構成を示す。(a)の場合、パターンデータを装置へ転送する必要があるが、(b)では、パターンデータを共用しているため、装置への転送が不要となる。

このため、ユーザーは、装置にコピーすべき描画データについて、装置側のハードディスクの空容量を意識しながらの転送管理と描画管理を強いられているのが現状である。

これを改善するために、単に高速でアクセスするだけでなく、データの仮想的な一元化ができるSAN(Storage Area Network)を採用した。SANを使用することで、高い信頼性を得たうえ、LANとは物理的に別なネットワークを使用することから、LANに対する負荷を軽減することができる。

これにより、これまで2種あったハードディスクを一元化でき、装置にデータをあらかじめコピーする操作を無くすことができる。この結果、ユーザーが実施していた複雑なスケジュール管理は不要となり、描画したいパターンを描画したいときに即座に描画することができる。さらに、SANの持つ柔軟な拡張性を利用することで、データ容量が増加してもシステム全体を停止することなく、容量を拡張でき、複数の装置をクラスタ化することもできる(図6参照)。

## 4 スループット向上

既存製品を生産しているラインにこのシステムを適応した場合にも生産性を低下させないためには、スループットを維持、もしくは高速化する必要がある。

スループットを向上するためには、露光時間の短縮や、偏向演算の高速化が求められる。

HL-7000Mシリーズでは、電流密度を7.5 A/cm<sup>2</sup>から15 A/cm<sup>2</sup>にすることで、約20%(製品模擬パターン:5 Gショット、露光量:8 μC/cm<sup>2</sup>)の露光時間の短縮が可能である。また、従来装置で使用されてきた3段偏向系を2段偏向系へ変更したため、演算の簡略化が可能となり、約10%程度の高速化を図ることができる。その結果、スループット評価用パターンでは、40 Gショットパターンで最速8時間以下が可能である。

さらに、斜め図形などを多く含むパターンでは、三角パターンのセルプロジェクション技術<sup>3</sup>を使用することができる。三角パターン(最大2 μm)を使用することで、斜め図形での長方形ショット数を低減できるため、高スループット化を図ることができる。

## 5 HL-7000Mシリーズの評価

2003年のITRSで発表されている65 nmノードでの必要精度とHL-7000Mシリーズの評価結果とを比較したものを表1に示す。HL-7000Mシリーズが、65 nmノード以後にも適応できる可能性を示している。

表1 HL-7000Mシリーズの評価結果

今回の評価結果例とITRS(65 nmノード)仕様の比較を示す。

評価項目	評価結果	ITRS(65 nm)
最小図形	70 nm	130 nm
寸法均性(3)	2.7 nm	3.6 nm
寸法直線性(幅)	3.3 nm	9.9 nm
位置制度(3)	8.7 nm	14.0 nm

## 6 おわりに

ここでは、65 nm対応マスク用電子線描画装置「HL-7000Mシリーズ」の基本性能と、新機能について述べた。

65 nmノード以降には、プロセス(レジスト、エッチングなど)、評価技術など、リソグラフィー以外にも非常に難解な課題が山積している。これらの課題を解決するために、また、この装置の可能性を最大限に生かすために、日立グループは、周辺装置を含めた技術サポートを実施し、今後も精度・生産性の向上に努めていく考えである。

### 参考文献

- 1) H. Kawano, et al.: accepted by J.Vac.Sci. Technol. B 2002
- 2) 川野, 外: 密度急変部における近接効果補正の高精度化, 第47回応用物理学会春期大会予稿集 p. 72(2000)
- 3) H. Kawano: accepted by STS2001 8-73, 8-76

### 執筆者紹介



川野 源

1991年日立製作所入社, 株式会社日立ハイテクノロジーズ ナノテクノロジー製品事業部 那珂事業所 エレクトロニクスシステム第二設計部 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: kawano-hajime @ naka.hitachi-hitec.com



門脇 康浩

1992年日立製作所入社, 株式会社日立ハイテクノロジーズ ナノテクノロジー製品事業部 那珂事業所 エレクトロニクスシステム第二設計部 所属  
現在, 電子線描画装置の開発に従事  
E-mail: kadowaki-yasuhiro @ naka.hitachi-hitec.com



大貫 和喜

1990年日立製作所入社, 株式会社日立ハイテクノロジーズ ナノテクノロジー製品事業部 那珂事業所 ソフトウェア設計部 所属  
現在, 電子線描画装置の開発に従事  
E-mail: onuki-kazuyoshi @ naka.hitachi-hitec.com



太田 洋也

1990年日立製作所入社, 中央研究所 先端技術研究部 所属  
現在, 電子線描画装置の開発に従事  
応用物理学会会員  
E-mail: ohta @ crl.hitachi.co.jp