

# 電子線描画装置の高度利用技術の開発

## Improved Software Technologies for Electron Beam Lithography

可変成形ビーム形電子線描画装置“HL-600”が開発されてから約3年が経過した。その後、制御用コンピュータをHIDIC 80EからHIDIC V-90に切り替え、更にデータ変換ソフトウェア“ELSA”や、従来の光学方式計測装置に代わる電子ビームによる描画結果の高精度自己評価機能を開発した。また、CADシステムからの出力データを一貫処理して任意角度図形をもつパターンが、マスク上あるいは直接ウェーハ上に描画できるようにした。更に、ステージ、ローダを中心に信頼性の向上を図った結果、 $0.2\mu\text{m}$ のパターンを描画することが可能となり、 $0.1\mu\text{m}$ 以内( $3\sigma$ )の重ね合わせ精度を達成することができた。

中村一光\* Kazumitsu Nakamura  
 銚谷義雄\*\* Yoshio Sakitani  
 小西忠雄\*\* Tadao Konishi  
 柴田幸延\*\* Yukinobu Shibata  
 菰田 孜\*\*\* Tsutomu Komoda

### 1 緒 言

半導体集積回路の高集積化、微細化の進歩は目覚ましく、数年前に商品化された256kビットDRAM(Dynamic Random Access Memory)が既に生産量のピークを過ぎ、1MビットDRAMの時代が来ようとしている。半導体素子の多岐にわたる製造工程の中にあつて、進歩を支えた一つの重要な技術が「リソグラフィー技術」であり、なかでも現在では電子線描画装置がその基幹技術となっている。日本国内だけでも研究用、量産用合わせて約100台の装置が稼働していると考えられ、その70~80%はマスク、レティクル生産用である。

現状で最も一般的なリソグラフィーの流れは(1)マスク描画→レティクル→縮小投影、又は(2)マスク描画→マスク→1:1プロジェクション、の工程である。光によるレティクル製作の割合が減少した理由は、要求される精度もさることながら、パターンデータ量の増加に伴う製造時間の長大化、更にはレティクル製造中の装置トラブルなどである。このように今や電子線描画装置は研究用設備の域を脱し、生産設備となっているが、今後半導体素子のよりいっそうの微細化、高密度化に伴って更に重要度は増し、特に直描のニーズが高まるのではないかと考えられる。

一方、X線リソグラフィーの研究が盛んに行なわれているが、現在のところX線リソグラフィー用のマスク製造装置としては電子線描画装置しかなく、こちらの面からも電子線描画装置のニーズは高まるであろう。

これらのニーズを踏まえ、日立製作所は電子線描画装置を更に高度に利用できるよう改良を加えたので、その主な点について述べる。

### 2 “HL-600”形電子線描画装置の開発と改良

“HL-600”形電子線描画装置(以下、“HL-600”と略す。)は、1Mビットメモリクラスの超LSIを想定し、最小パターン寸法を $1\mu\text{m}$ ( $0.5\mu\text{m}$ 可能)と設定して製品化された<sup>1),2)</sup>。

装置の基本仕様については、報告例があるのでここでは省略する<sup>3),4)</sup>が、本システムで、今回適用した改良項目は以下のとおりである。

- (1) システム対応性……データ変換機能の開発と高速化、多様化及び製品のシリーズ化
- (2) 自己評価機能……位置精度、つなぎ精度

- (3) 描画精度の向上……最小線幅 $0.5\mu\text{m}$ ( $0.2\mu\text{m}$ 可能)

電子線描画装置の特長を端的に述べると「微細加工性」と「高速着工性」になる。「微細加工性」とは、すなわち「最小加工寸法」と「重ね合わせ精度」である。「高速着工性」とは設計データから半導体素子へたどりつくスピードである。

今回の改良により、“HL-600”はこの電子線描画装置の特徴を十分に発揮すると同時に、研究開発から量産まで幅広いユーザーニーズに対応できるシステム構成となった。以下、本装置の構成と応用例について述べる。

### 3 システム構成

“HL-600”の基本構成を図1に示すが、概略以下のように三分される。

- (1) コンピュータ制御部
- (2) 描画制御部
- (3) 描画装置本体

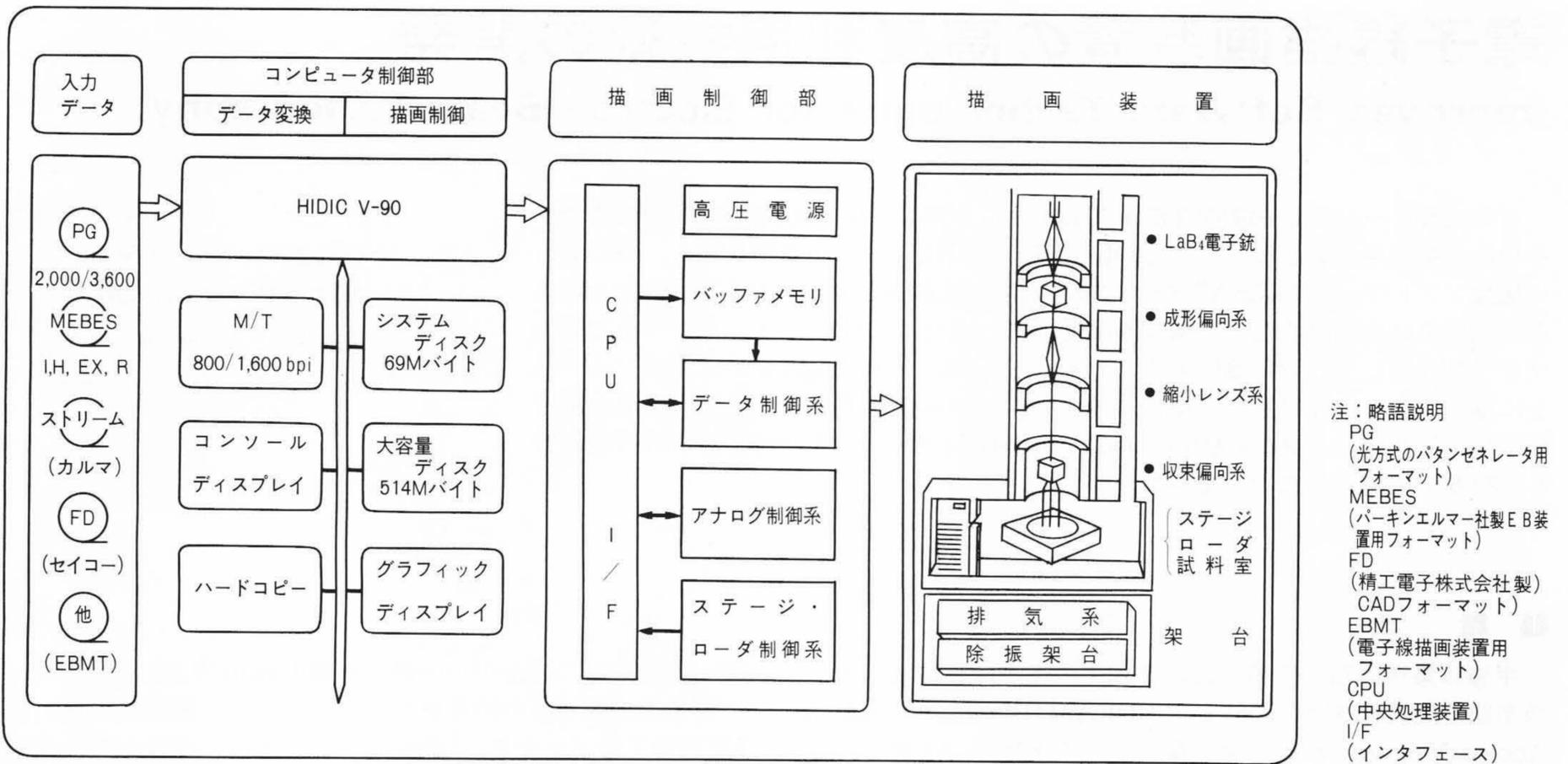
制御用コンピュータには32ビットのスーパーミニコンピュータHIDIC V-90を使用しており、描画すべきパターンデータの作成、制御情報の作り込み、描画装置のシーケンシャルコントロールなどを行なう。一般にパターンデータは、CAD(Computer Aided Design)システムから磁気テープを媒体として出力されるが、このままでは描画装置が解釈できないために、フォーマット変換すると同時に、必要に応じて図形形状そのものに処理を加え515Mバイトの大容量ディスクに格納される。

描画制御部は、幾つかの構成要素に分けられる電子回路から成っており、コンピュータの指示に従って描画装置全体の制御を行なう。すなわち、描画すべきパターンデータの転送、データの解釈と分解、電子ビームの偏向とオン・オフ、ステージ移動、マーク検出、描画基板のロード・アンロードなどの制御を繰り返し行なう。

描画装置本体は高精度な機構系の集合体であり、電子光学系、X-Yステージ、オートローダ、真空排気系、除振架台などから成る。

“HL-600”の一つの大きな特長はシステム対応性であるが、ユーザーニーズに従って装置の構成要素を組み合わせることに、目的とするシステム構成が得られるように設計され

\* 日立製作所那珂工場 工学博士 \*\* 日立製作所那珂工場 \*\*\* 日立製作所中央研究所 工学博士



注：略語説明  
 PG (光方式のパターンゼネレータ用フォーマット)  
 MEBES (パーキンエルマー社製EB装置用フォーマット)  
 FD (精工電子株式会社製CADフォーマット)  
 EBMT (電子線描画装置用フォーマット)  
 CPU (中央処理装置)  
 I/F (インタフェース)

図1 “HL-600”の基本構成 “HL-600”を大きく分けると、コンピュータ制御部、描画制御部、描画装置本体から成る。

形式	用途	マスク レティクル	直描	装置構成	仕様		
					最小線幅	スループット	
HL-600L (普及形)	先端半導体素子開発 (表面波素子など)		○		1枚 ローダ	1 $\mu$ m (0.2 $\mu$ m可)	~3枚/h
	電子線関連技術開発 (レジスト, 損傷など)		○				
HL-600S (標準形)	ULSI開発 (4Mビット, 16Mビット) DRAMなど	○	○		12枚 ローダ	1 $\mu$ m (0.2 $\mu$ m可)	~10枚/h
	超微細デバイス (通信用GaAsなど) 開発, 生産		○				
HL-600H (マルチ形)	セミカスタムLSI (ゲートアレイなどQTAT)	○	○		XN台	1 $\mu$ m (0.2 $\mu$ m可)	~10枚/h
	量産デバイス	○	○				

図2 “HL-600”シリーズ化の概要 “HL-600L”は研究開発用ローコスト形, “HL-600S”は標準形, “HL-600H”はマルチ形量産用である。

ている。典型的なシステム構成例を図2に示す。

“HL-600L”は研究開発用であり、スループットを犠牲にしてコストダウンを図っている。

“HL-600S”は汎用標準機であり、スタンドアローンなシステムとして最もよく使われている。

“HL-600H”は高速量産機である。

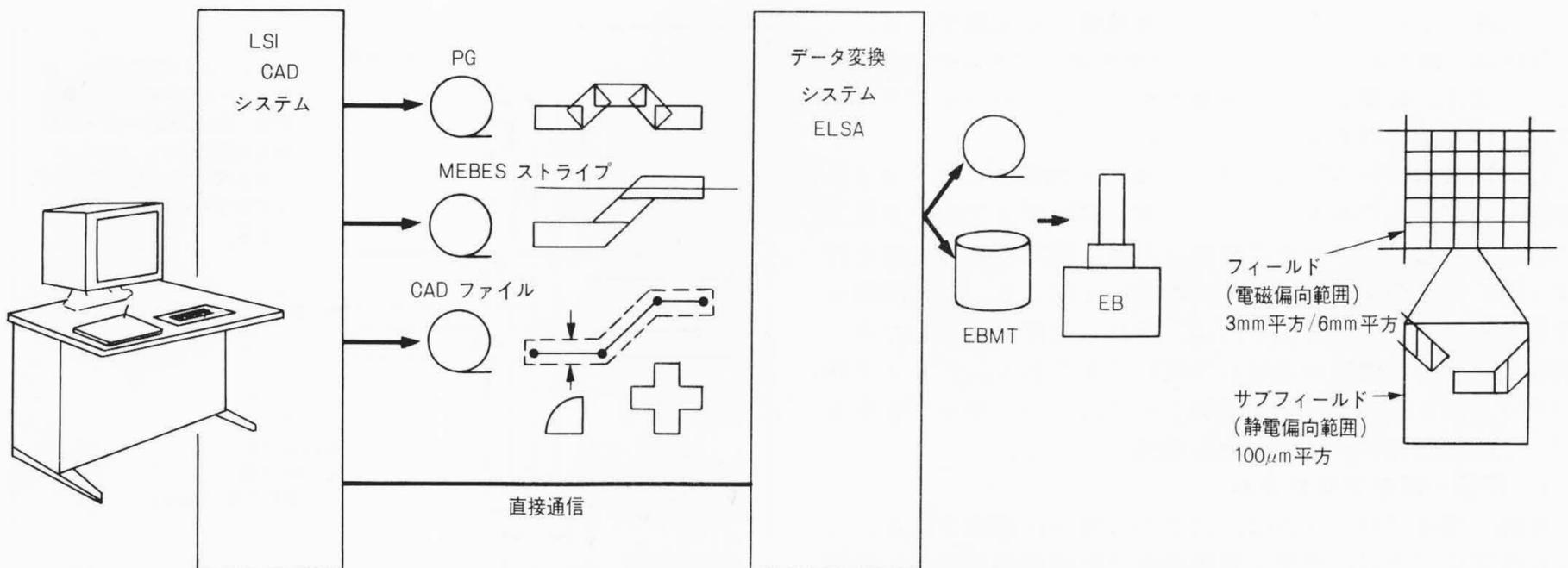
このようなシリーズの特長は以下のようになる。

- (1) 装置納入後も必要に応じシステムの機能拡張が可能である。
- (2) 主要部分が変わらないため、精度が維持される。

#### 4 ソフトウェア構成

“HL-600”でのソフトウェアの機能とプログラム名称を大きく分けると次のようになる。

- (1) データ作成………ELSA (Electron Beam Lithography Submicron Art Work System)
- (2) 描画制御………JBP (Job Management Program), DLM (Data Library Management Program), EBCP (Electron Beam Exposure System Control Program)
- (3) 評価, 保守………MLP (Mark Location Measurement)



注：略語説明 CAD(Computer Aided Design), EB(電子線描画装置), ELSA(Electron Beam Lithography Submicron Art Work System)

図3 データ作成ソフトウェアの概要 データ作成ソフトウェア(ELSA)は、CAD出力データに必要な処理を加え、EBデータとして出力する。

Program), STAMP(Stitching Accuracy Measurement Program), TMHD(Test & Maintenance Program for Hardware Diagnosis)

これらのソフトウェアについて以下に述べる。

#### 4.1 データ作成プログラム

ELSAの機能概要を図3に示す。ELSAのいちばん主要な処理はCADシステムから出されるパターンデータを、“HL-600”描画装置用にフォーマット変換することである。しかし、描画装置側の必要性(重なり除去、データの並べ変えなど)とユーザー側からの要求(図形の拡大、縮小、寸法補正など)により、非常に複雑かつ高速、大量の図形演算処理が必要となる。同図から明らかなように、ELSAの入口は、PG, MEBES, CALMA, SX-8000などのデータフォーマットに対応し多様性に富んでいる。

本プログラムの機能をまとめて図4に示す。同図の各処理はこの図を見れば明らかと思われるので特に触れない。同図の中で近接効果補正は、電子ビームの基板内散乱による描画パターン寸法の設計値からのずれを補正するプログラムである<sup>6)</sup>。

#### 4.2 描画制御プログラム

描画制御プログラムは、以下に示す3種類から構成される。

- (1) EBCP……描画装置のシーケンシャル制御
- (2) JBP……装置制御パラメータと配列情報管理
- (3) DLM……パターン、ジョブ各ライブラリ管理

これらのプログラムはそれぞれ相関関係がある。まず、JBPによってLSIチップ配列情報や成形ビームによる図形分解条件がセットされ、そしてDLMによりパターンデータが登録される。次に、これらの準備が整った後、EBCPを起動することによって、マスク又はウェーハ上に所望のパターンが描画される。

原則としてEBCPは「一命令、一動作」の体系を採っており、複数のウェーハ又はマスクプレートを連続して描画する場合には、カタログコマンドを用いる。カタログの編集、コマンド群の論理判定も行なえるように配慮している。また、連続描画の際に所望のジョブデータやプレートの設定などが完了していれば、1×マスク、5×レティクル、ウェーハ直描な

用途	機能	内容
基本機能	基本図形分解	
	描画データ出力	基本図形に分解された図形データを描画データ、フォーマットに変換し、描画制御のディスクあるいは磁気テープに出力する。
	ウインドウ	
	ネガウインドウ	
高精度描画のための支援機能	重なり除去	
	パターン寸法補正 (Sizing)	
	微小間げき埋込み補正	
	近接効果補正	
プロセスのための支援機能	回転処理	
	倍率変換処理	
	鏡面反転処理	
	白黒反転処理	

図4 ELSAにおける図形演算処理一覧 実際にはパターンデータ作成を実行する場合には、上図に示す幾つかの処理が組み合わされることになる。

どが混在するカタログコマンドの連続実行も可能である。

JBPは一種のエディタであり、会話形プログラムを実行することにより、必要なジョブ情報がディスク上のジョブライブラリに作り込まれるようになっている。

DLMは磁気テープとディスクの両方を対象としたファイル管理プログラムであり、パターンデータ、ジョブデータ双方の管理を行なう。データの検索、消去、複写などの処理を行なうが、任意の文字配列を入力することにより、その配列を含む名称のデータが存在すれば、それら全部を検索したり、複写したりする処理が連続して実行可能である。ディスク内のデータがあふれると当然磁気テープにバックアップを取るが、これら磁気テープの管理も実施している。

4.3 評価・保守プログラム

評価・保守プログラムは、以下の3種から構成される。これらのプログラムの充実が装置の自己評価機能を高め、性能及び調整能率を著しく向上させた。

- (1) MLP.....マーク位置、基板高さ計測
- (2) STAMP.....接続精度計測
- (3) TMHD.....ハードウェア動作チェック

4.3.1 MLP

MLPの機能概要を以下に説明する。あらかじめ定めたピッチ(Xp, Yp)で描画された評価マーク列の位置を計測し、結果をディスク内に格納する。データ出力にはグラフィックディスプレイ又はプリンタを用いる。複数枚のプレートによる相互位置関係、すなわち重ね合わせ精度を調べたり、理想位置から誤差分布を求めたりという統計処理も可能である。本プログラムはマーク位置と同時に基板の高さ計測を行ない等高線を描くことも可能である。描画精度が悪い場合の原因究明手段としても有効である。本プログラムによる測定結果を次章に記す。マーク位置の測定精度は約0.03μm、高さ計測精度は1μmである。

4.3.2 STAMP

STAMPの概要を図5に示す。サブフィールド、すなわち静電偏向領域のコーナ部に同図左上のパターンを配置し、井げた状パターンの相対位置を順次計測することにより、電磁偏向及び静電偏向の形状を求め、両者の接続精度、安定性を調べることができる。更に、電磁偏向、静電偏向のひずみを認識し自動補正することも可能である。MLP, STAMPとも、描画後のレジストパターンで計測可能であり、基板のエッチングを行なう必要はない。

4.3.3 TMHD

TMHDは各制御系の動作チェックを行なう保守プログラムである。機能は(1)日点検、(2)週点検、(3)個別点検と分かれており、日点検では制御系のデータ授受機能をチェックし、週点検では精度試験を行なう。個別点検は主としてサービスマンが使用し、制御系をより細分化した基板単位で動作点検を行なえるように作られている。

5 応用例

“HL-600”の評価結果と描画例を以下に述べる。

5.1 重ね合せ精度

MLPによるマスク8枚の重ね合せ評価結果を図6に示す。同図から明らかなように、8枚の基準パターンの位置再現性は±0.15μm以内である。

図7に直描の重ね合せ評価結果を示す。同図(a)がステップで作ったシリコン上の段差パターンであり、同図(b)が“HL-600”で2層重ね描画を行なった結果のレジストパターンであ

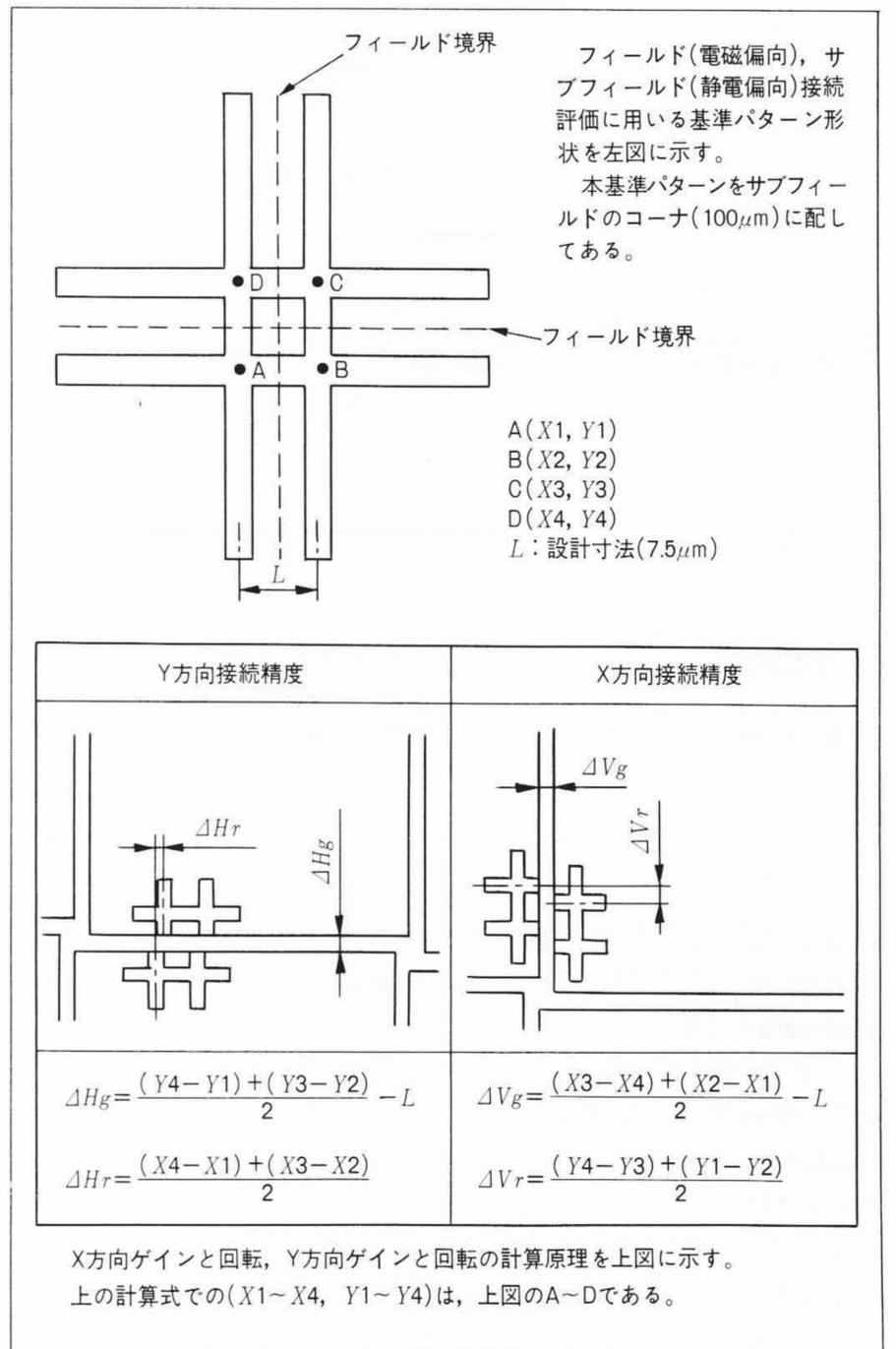


図5 STAMPによる処理の概要 サブフィールド境界に配置した“#”形マークの相対位置を計測し、フィールド、サブフィールド接続精度を評価し、偏向形状自動補正を行なう。

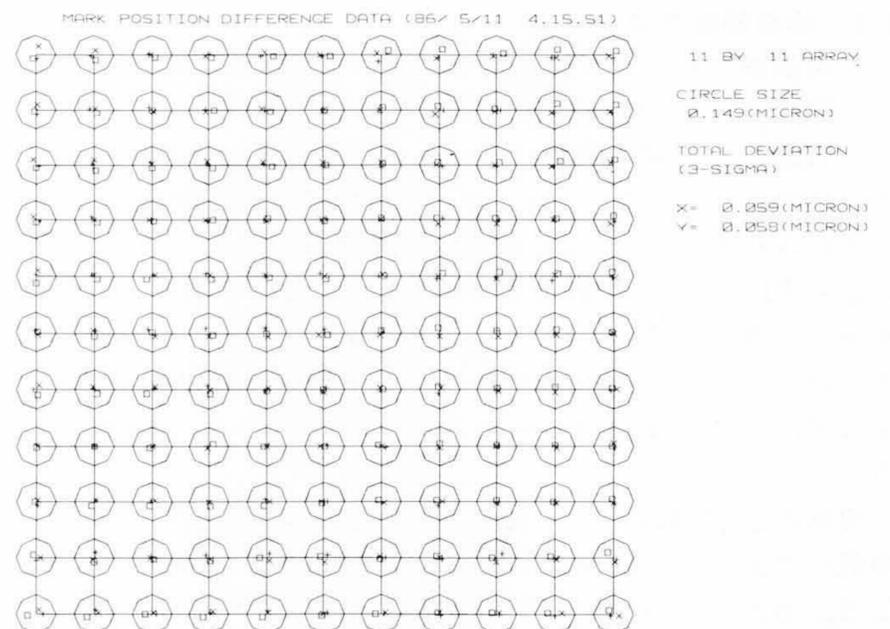


図6 MLPによる重ね合せ精度評価例 試料数は5inプレート3枚であり、10mmピッチで11×11点の重ね合せを評価した(上図の円の半径は0.15μm)。

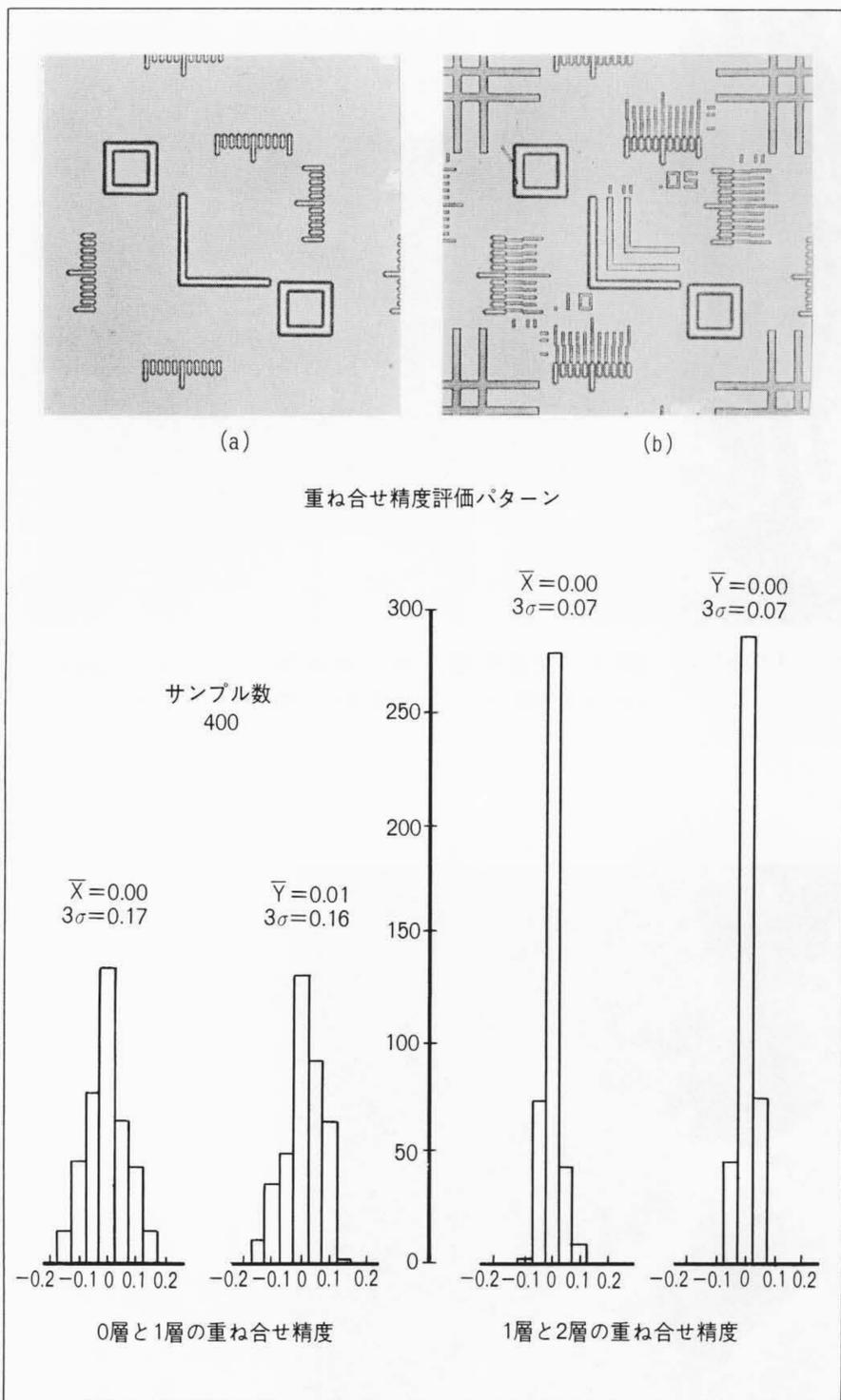


図7 直描による重ね合せ精度評価例 図(a)はSi下地に作成したパターン, 図(b)はこのウェーハの上にHL-600で作成した重ね合せ評価用バーニヤパターンを示す。

る。これらのパターン描画は次のような処理手順によった。(1) ステップによる0層目パターン露光, (2) エッチング, (3) はく離, (4) EBレジスト塗布, (5) 1層目描画, (6) アンロード及び再ロード, (7) 2層目描画, (8) 現像, である。同図(b)で“II”で示してあるのが1層目, “I”で示してあるのが2層目に描画した各々のパターンである。ヒストグラムはバーニアのずれを光学顕微鏡観察することによりデータ収集したものである。

### 5.2 つなぎ精度

STAMPによるつなぎ精度計測結果を図8に示す。測定結果中(R)と示したものがフィールドの回転を表わし, 描画結果は段差となって表われる。一方, (G)と示したものは偏向ゲインを表わし, 描画結果にはパターンの間げき(隙)となって表われる。

### 5.3 解像度

解像度を示す描画例を図9~10に示す。図9は, 0.5 $\mu$ mの立方体であり, レジストはCMS-EX(R)を用いている。CMS-EX(R)はネガ形レジストである。図10は高解像レジストとして知られるポジ形のPMMAを用いた0.2 $\mu$ mパターンの描画例である。これら一連の微小パターン描画例から分かるように0.2 $\mu$ mまで描画可能と考えられる。従来, 微細パターン描画の目的にスポットビーム形の描画装置が用いられていたが, 描画速度を考慮すると細長い線を接続する可変成形方式が望ましい。図10から分かるように細長ビームの「ショット接続」は比較的良好である。

### 5.4 任意角度

図11に任意角度の描画例を示す。“HL-600”で斜めパターンを描画する場合, 長方形ビームと短冊状ビームのスタンプにより同図に示すような斜めパターンを形成する。斜めパターンエッジのエッジラフネスは, 同図に示すように全く問題がない。レジストはCMS-EX(S)を用いている。“HL-600”ではパターンデータは台形を単位図形として, ディスク又はメモリ上に記憶されているが, 図形分解回路が長方形に分解する際の最大長方形サイズと斜め分解の短冊幅はユーザーが指定することができる。精度とスループットを考えると許される精度内で, できるだけ大きなビームサイズで描画することが望ましい。

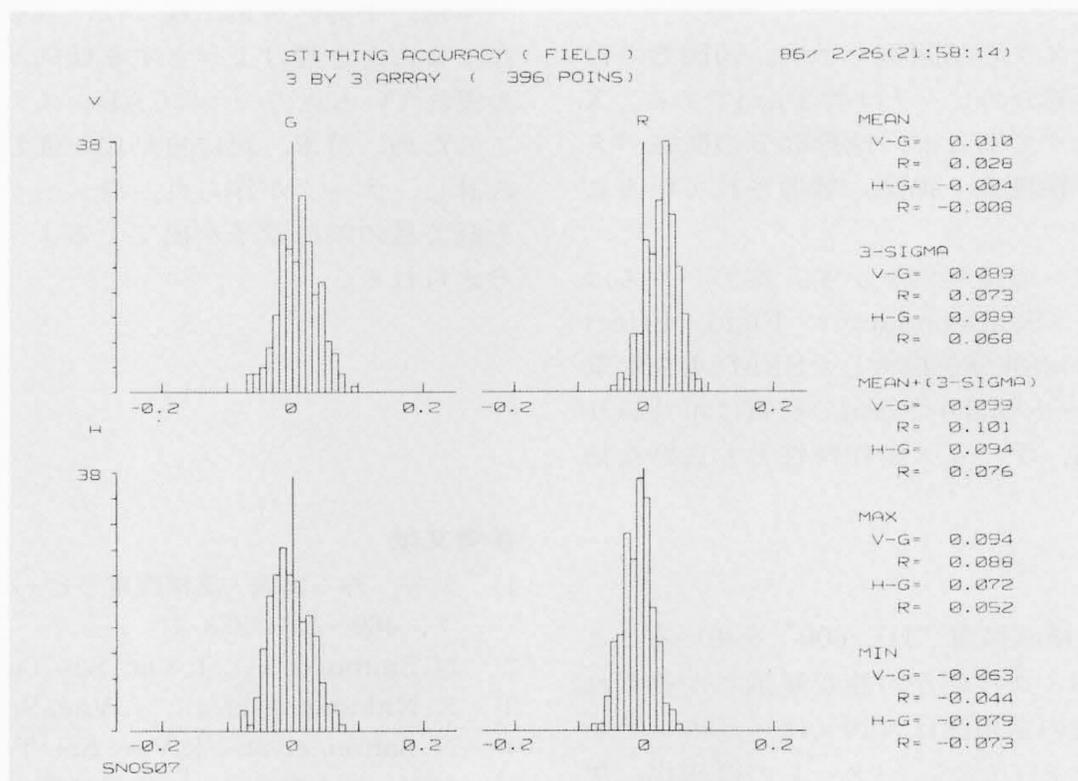


図8 STAMPによる電磁偏向フィールド接続精度測定例 上図がY方向のゲインと回転, 下図がX方向のゲインと回転の接続精度評価結果を示す。

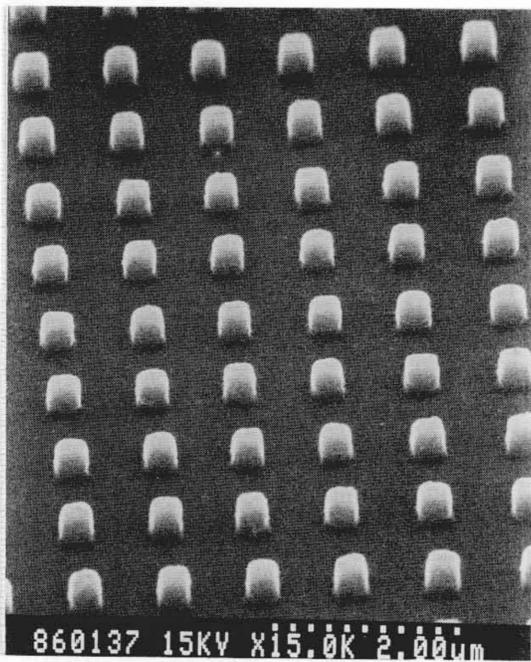


図9 0.5 $\mu$ m立方体の描画例 CMS-EX (R)はネガ形のレジスト, レジスト:CMS-EX(R) 加速電圧30kVで感度は約40 $\mu$ C/cm<sup>2</sup>である。

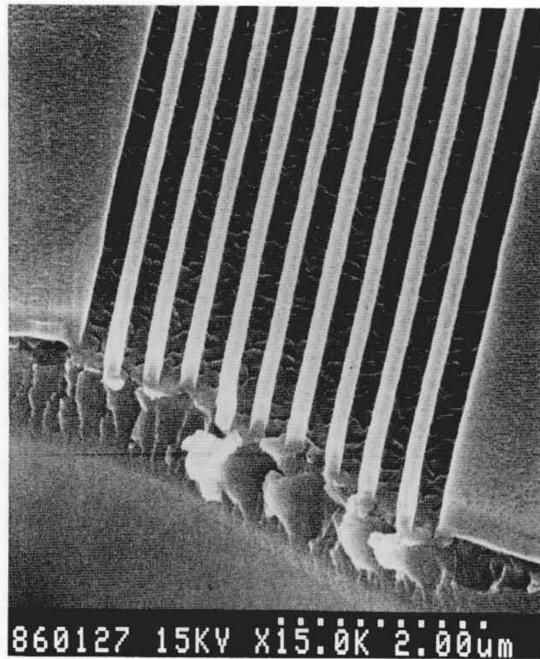


図10 0.2 $\mu$ mライン及びスペースの描画例 レジスト:PMMA 膜厚0.5 $\mu$ m, 下地:Al, 加速電圧30kV, 感度160 $\mu$ C/cm<sup>2</sup>である。

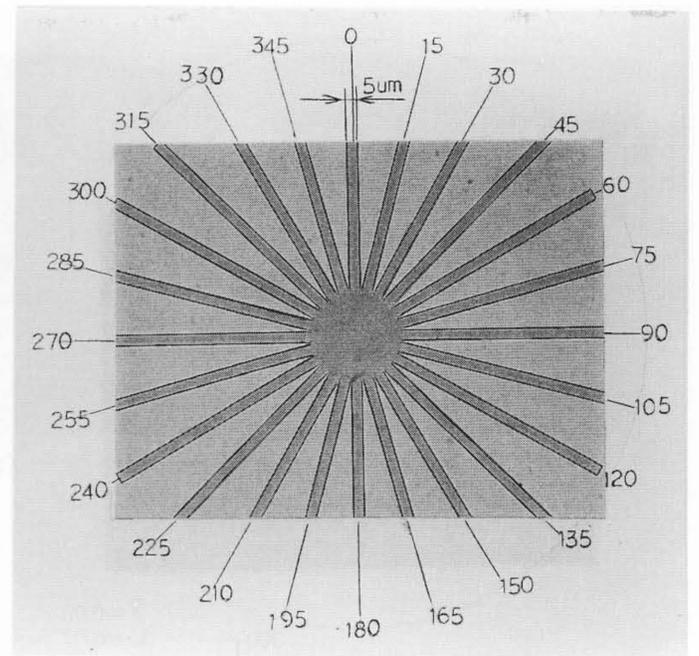


図11 任意角度図形の描画例 レジスト:CMS-EX (S)任意角度パターンが精度良く描画されている。

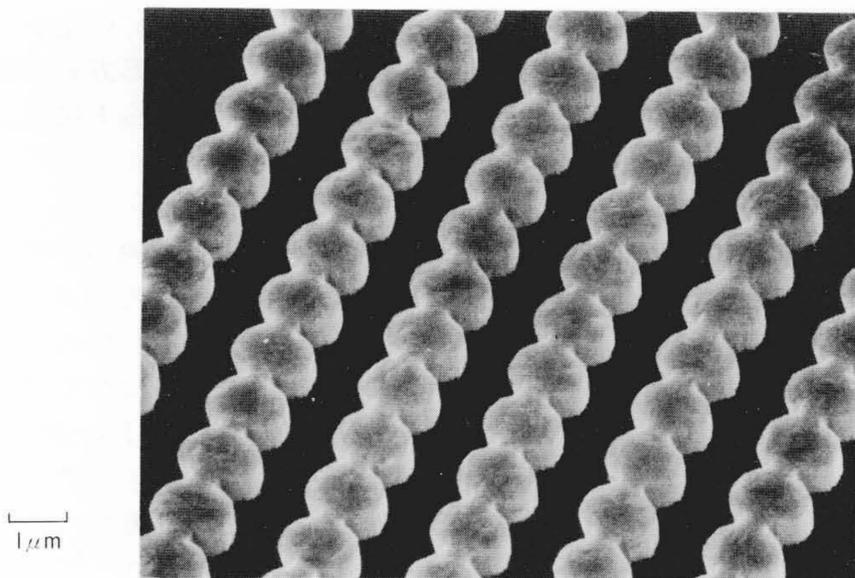


図12 バブルメモリ用パターンの描画例 X線リソグラフィ用マスクパターンを示す。白色の部分は金でピッチは1 $\mu$ m, 円形状パターンが精度良く解像されている。

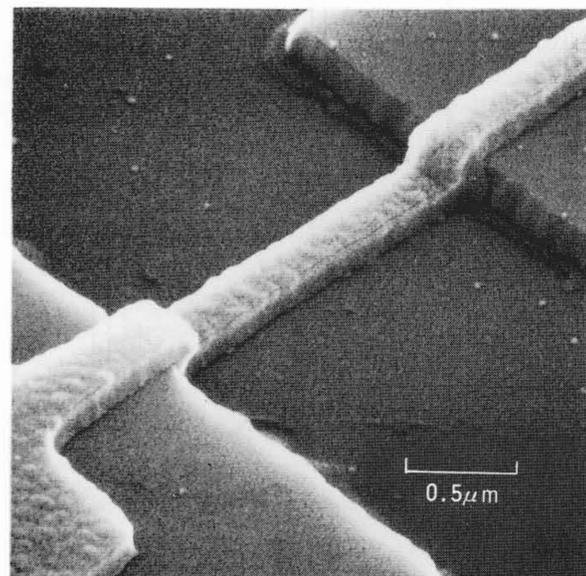


図13 微小デバイスの直描による作成例 デバイス:MOSFET, ゲート幅:0.25 $\mu$ m, 材質:ポリシリコンである。

### 5.5 デバイス適用例

図12にバブルメモリ用マスクの描画例を示す。同図での白色の部分は金であり、円形部分のピッチは約1 $\mu$ mである。X線リソグラフィ用のマスクであるが、球形部分の微細パターン、すなわち任意角度が精度良く描画、解像されていることが分かる。

図13に、超微細デバイスへの適用例を示す。本デバイスはMOSFET (Metal Oxide Semiconductor Field Effect Transistor)であり、ゲートの部分を拡大したSEM(走査形電子顕微鏡)像であるが、ゲート幅は0.25 $\mu$ mで材質はポリシリコンである。パターン形状、デバイス動作特性とも良好な結果が得られている。

## 6 結 言

可変成形ビーム形電子線描画装置“HL-600”を用いることにより0.2 $\mu$ mレベルのデバイス作製が可能に見通しが得られた。従来、電子線描画装置の主用途は $\times 10$ 又は $\times 5$ のレティクル、 $\times 1$ マスクの製作であったが、パターンの微細化、ゲートアレーなどの少量多品種デバイスの需要などを考えると、今後はウェーハ直接描画の要求が高まると考えられる。

本来、半導体製造工程では、異物の問題も含め、人間が介入することを避けようとする傾向があるが、電子線描画装置の優れている点の一つにCADシステムとの直結が挙げられる。このため、将来、更に自動化が進むと、端末操作により自ら設計し、データが作られ、ウェーハへの描画、プロセス処理を経て目の前に素子が出てくるようになるのも夢ではないと考えられる。

### 参考文献

- 1) 銚谷, 外: 高速・高精度電子ビーム描画装置, 日立評論, 65, 7, 469~474(昭58-7)
- 2) N. Saitou, et al.: J. Vac. Sci. Technol. Vol.19, 1087(1981)
- 3) K. Nakamura, et al.: J. Vac. Sci. Technol. B3, 94(1985)
- 4) N. Saitou, et al.: J. Vac. Sci. Technol. B3, 98(1985)
- 5) 柴田, 外: 電子ビーム露光装置, 精機学会, 12月号, p.2189 (1985)
- 6) F. Murai, et al.: Proc. of the IEEE IEDM(Dec., 1983)