

ブロック露光データ処理システム： BEXELWIN

Data Processing System for Block Exposure: BEXELWIN

あらまし

まもなく量産を開始する0.13 μm ルールデバイスの露光データ処理においては、シミュレーションを多用することにより、大規模データに対してプロセス開発手法などの変化に対応した、高精度な露光データを短時間に得ることが求められている。

富士通は、電子ビーム露光装置による0.13 μm プロセスでの半導体加工に必要なブロック露光データ処理システム「BEXELWIN」を実用化した。本システムはブロック露光装置(F5120：アドバンテスト社製)と組み合わせ、半導体のパターンデータを100種類のブロックに分解、各ブロックごとに電子ビームを一括照射することで加工時間の大幅な短縮を可能にした。本稿ではBEXELWINの機能について紹介する。

現在、BEXELWINは1,000万ゲート規模のロジック製造に適用されるとともに、外販もなされている。

Abstract

Before mass production of 0.13 μm -rule devices can start, large amounts of exposure data will need to be accurately and quickly obtained through full use of simulation. Simulation will therefore be an important process for handling the changes in process development techniques.

Fujitsu is using a block exposure data processing system called "BEXELWIN" for 0.13 μm -rule semiconductors. This system can efficiently reduce process times by dividing the pattern data of a semiconductor into 100 blocks and irradiating each block with electron beams simultaneously with a block exposure device (F5120 manufactured by Advantest Corporation). This paper describes the functions of BEXELWIN.

BEXELWIN can be used to manufacture logic with about 10 million gates and is already on the market.



星野裕美 (ほしの ひろみ)

1983年成蹊大学工学部工業化学科卒。
同年富士通入社。以来露光データ処理、図形処理関連のCADシステムの開発に従事。
CAD開発統括部第二CAD開発部

まえがき

設計ルール0.13 μm 時代を迎え、LSIの主要品種がDRAMからシステムLSIに変わり、工場形態は、従来の単品種・大量生産型から多品種・変量生産型への移行が予測される。一方、高性能LSIでは、トランジスタの高速化トレンドを堅持するために、設計ルールのゲート長をより微細にするようになり、性能追求が必須なシステムLSIでは、これを一層推し進める必要がある。0.13 μm ルールでは、一世代進んだ設計ルールに相当する0.1 μm 以下のゲート長の実現が課題となっている。⁽¹⁾

本実現に際しては、LSI加工の基盤となる微細リソグラフィ技術の確立が必要であるが、とくに電子ビーム直描技術は、微細加工性において光リソグラフィ技術の追従を許さないポテンシャルを有し、また、多品種・変量生産時代には、マスクを前提とする光、X線リソグラフィ技術に比べ、マスク不要によるコストダウンが期待できる。さらに、これらリソグラフィ技術と容易にミックスアンドマッチ^(注1)を実現できるという特徴をもっている。しかし、描画装置のスループットが低いという弱点のため、研究開発や特別仕様のLSIなどの、用途が限定された生産使用に留まっているのが実状であった。

部分一括露光(ブロック露光)^(注2)は、電子ビーム直描技術の欠点であるスループットの低さを大幅に改善する露光方法であるが、ブロック露光の性能を十分に発揮し、高スループットを実現するためには、高精度を要する部分を含め、ショット数^(注3)が最も少なくなるようにブロックを形成する必要がある。F5120露光装置の持つ100種類もの最適なブロックをLSIの設計段階で用意するのは困難であり、ブロックパターン的高性能自動抽出ソフトウェアの存在が必須である。加えて、電子ビーム露光法での高精度描画には近接効果補正が不可欠であるが、ブロック露光方式では、ブロック単位でしか露光量の調節ができず、きめ細かな補正ができない。さらに、ブロック内のパターン描画率が大きい場合には、ブロック内の電流密度が高くなることから、特に0.13 μm ルールデバイスにおいては、クーロン相互作用(電子ビームの互いのマイナス電荷の反発作用)による精度劣化が顕著になるという課

題がある。

これらを解決し、ブロック露光データを自動、かつ高速に作成するデータ処理システムBEXELWIN^{(2), (3)}について紹介する。

露光技術とブロック露光法

KrFエキシマレーザの波長は248 nm、ArFエキシマレーザの波長は193 nmであるが、光近接効果補正、位相シフト法などの紫外線露光の延命技術が開発されたことにより、現状においては波長を超える加工寸法を達成している(図-1)。ただ、波長157 nmのF₂は実用化が疑問視されており、また、超解像を実現するのは非常に高いコストがかかる。よって、0.1 μm 以下の加工においては、超解像技術の限界と高コスト化のため、電子ビーム直描技術が有力な露光技術となる。

電子ビーム露光は、パターンの中を電子ビームで塗り潰していく方法でパターンを一つひとつ描画していくためスループットの点で劣っていたが、ブロック露光法がこれを解決した。図-2の左側に従来法である可変矩形露光におけるビームサイズの調整方法、右側にブロック露光法におけるビーム形成方法を示す。ブロック露光では、電子銃から発生した電子群を、第1スリットで正方形に成形し、マスク選択偏向により位置を調整しながらブロックマスク上に照射する。その後、マスクを透過した領域がウエハ上に投影され、これが1ショットとなる。このブロックマスクには、繰り返し性の多いパターン形状をあらかじめ透過孔として複数種(F5120では100種)作成しておき、マスク偏向器で必要なブロックを選択し、ウエハ上に次々とハンコを押すように描画していく。ブロックマスク化されないパターンについては可変矩形露光される。

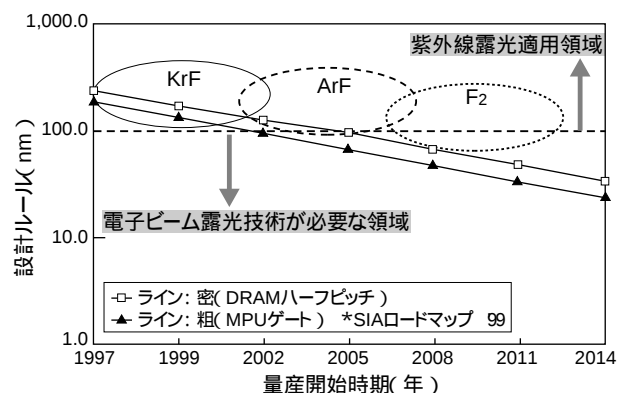


図-1 最小加工寸法と露光技術

Fig.1-Relationship between miniaturization and lithography technology.

(注1) 一つの半導体デバイスの複数の露光工程に対し、工程に応じて異なった種類の露光装置を使い分けること。

(注2) 電子光学系の途中に開口部を有するマスクを設け、開口部の形状を試料上に転写する描画方式。これにより転写するショット数が低減でき、スループットの向上につながる。

(注3) 電子ビーム描画装置において、1回で描画できる図形、または図形群の数。

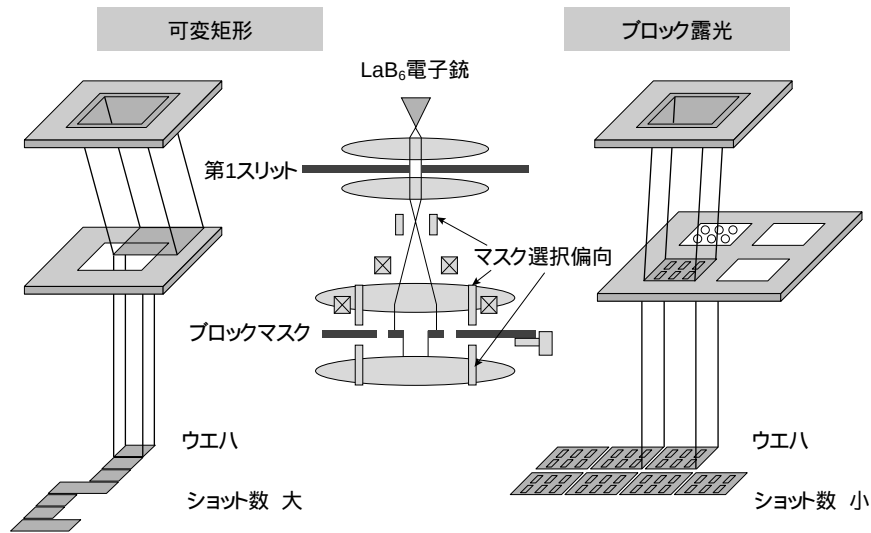


図-2 可変矩形露光とブロック露光方法
Fig.2-Variable shaped exposure and block exposure method.

パターンを露光するためには、発生する成形ビームの数だけショットしなければならないため、露光時間はショット数で決まる。可変成形においては1ショットで1矩形しか露光できないのに対し、ブロック露光では一括転写開口(ブロック)により、数十の矩形を1回のショットでウエハ上に露光できる。この結果、従来では多数のショットで露光しなければならなかった複雑なパターンも1ショットで露光可能となり、ショット数が激減しスループットが大幅に向上する。図-3は4GビットDRAM相当のホール層、配線層、ビットライン層でのブロック個数とショット数の減少の割合を示したグラフである。ブロック個数0(可変矩形露光のみ)と比較すると、ブロック個数25個では、ショット数の減少率は1/2～1/3であるのに対して、ブロック個数100個では1/10以上の削減となり、大幅なスループット向上が見込める。

システム構成

BEXELWINはstreamフォーマット^(注4)のLSI設計データ(GDS)から、ウエハ露光データとブロックマスク作成用データを生成するものである。各種解析プログラム、シミュレータを装備しており、電子ビーム露光データの検証を行うことができる。各処理はGUI操作画面から制御し、補正パラメータ算出機能を含む、図-4に示すシステムを構成している。処理分類ごとに機能を記す。

(注4) マスクパターンデータの一つの標準的な表現。米国カルマ社が提案した形式であり、各種CAD装置間でマスクパターンデータを受け渡しする場合の手段として普及している。GSDIIフォーマットとも呼ばれる。

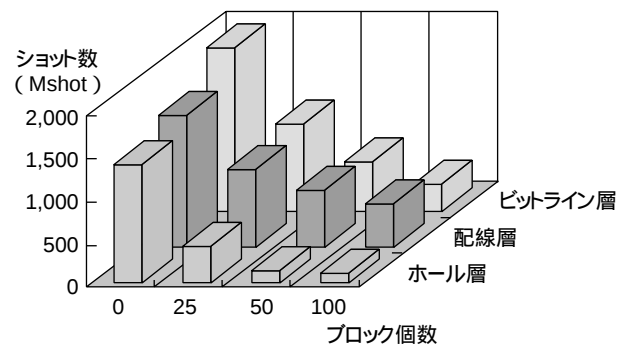


図-3 ブロック個数とショット数の関係(4GビットDRAM相当)
Fig.3-Relationship between number of blocks and number of shots.
(4-Gbit DRAM corresponding)

(1) ブロック露光データ作成

- ・階層図形処理：層合成、サイジング、マグニフィケーション、階層最適化、露光階層処理単位選定。
- ・Block exposure file(BEF)変換：階層処理によるブロックパターンの自動抽出。
- ・露光補正処理：近接効果、クーロン効果補正。
- ・ショット分解：三角形ブロック使用による斜辺図形の効率分解。
- ・マスク作成用露光データ作成：ブロックマスク作成によって指定倍率に拡大されたGDSを入力しBEFを作成。

(2) 露光データ検証

- ・露光シミュレーション：露光強度分布関数を用いた露光後形状のグラフィカル表示。自動線幅測定、エラー検出。
- ・パターンデータ表示：重ね合わせ表示。パターン種

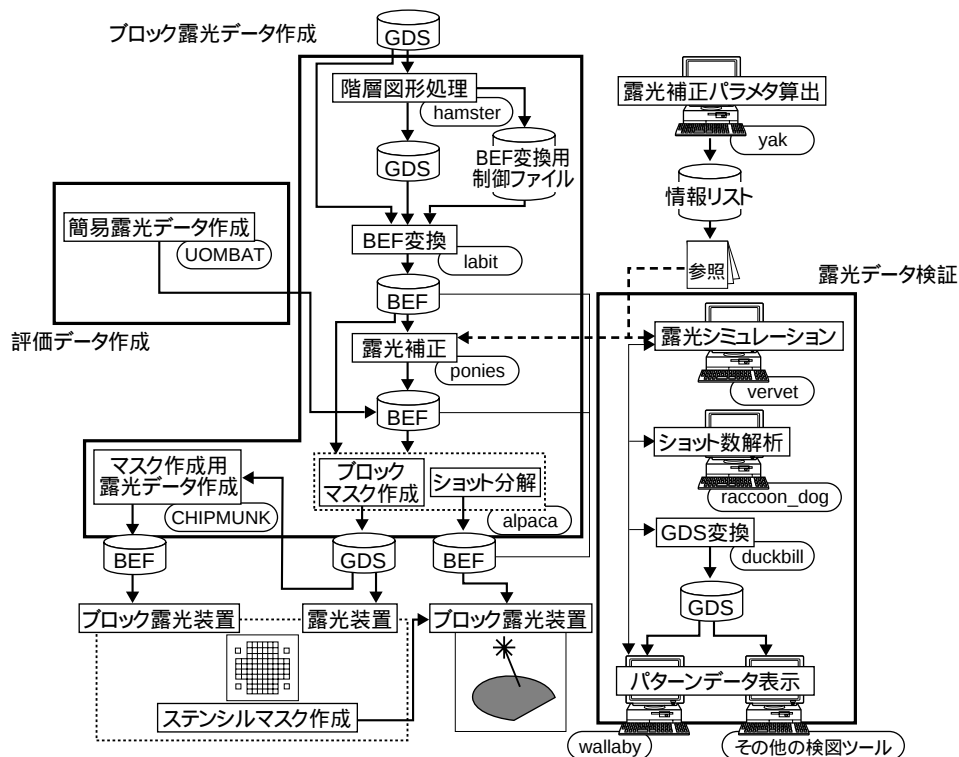


図-4 システム構成
Fig.4-System configuration.

類，ショット露光量の色別表示。

- ・ ショット数解析：ショット分布，露光量分布，線幅分布解析。ブロック数変更によるショット数再計算。
- ・ GDS変換：BEFからGDSへのフォーマット変換。

(3) 評価データ作成

- ・ 簡易露光データ作成：プロセス評価用，装置調整用露光データ作成。

とくに電子ビーム露光適用に不可欠である，上記(1)の高スループット，高精度を実現する機能を以下の「高速，高圧縮変換」，「ブロックデータ自動抽出機能」，「露光補正」で，上記(2)の検証については「露光データ検証」で解説する。

高速，高圧縮変換

階層化設計されたLSI設計データに対して，露光装置に合わせた階層構造に組み替えるなど，設計データの構造を利用した階層処理により，高圧縮データを高速に作成している。また，層合成，サイジング，マグニフィケーションなどの図形処理を行い，階層間の重なりを除去し，様々な条件に応じて，このデータのショット数が最小になるようなブロック露光が所の選定と，最も効果的な階層処理単位の選定を行うシミュレーション機能を完備している。この情報は後続の露光データ変換(BEF変

換)処理へ自動的に受け渡されるため，ユーザは必ずしも設計データの構成を知っておく必要はない。

ブロックデータ自動抽出機能

ブロック抽出効率(いかに繰り返し性の高い指定個数内のブロックを抽出できるか)が露光スループットを大きく左右する。

外部指定，または，前出のシミュレータを使って自動選定される階層処理単位を受け，配置数の多い単位順に処理を行う。階層処理，OR処理の後，配置図形の同一性，繰り返し性をプログラムが解析し，ブロックパターン抽出を行う。

有効なブロックとは，ブロック内のパターン数とブロックの配置数が多いこと，また，ショット数削減のために斜辺をもつパターンを含んでいること，さらに，パターン精度向上のため，微小図形がブロック化されていることである。以上の条件のもとで，設計データの中からブロックサイズ内のパターン群を自動的に抽出する。ロジックデバイスのゲート層に対するブロック抽出例を図-5に示す。左図が設計データ，右図がこの設計データのブロックマスク図である。ブロックマスクの中心付近にはSRAMのセルが抽出されている。ロジック品種でも乗算器などの繰り返し性のある部分をターゲットに良好

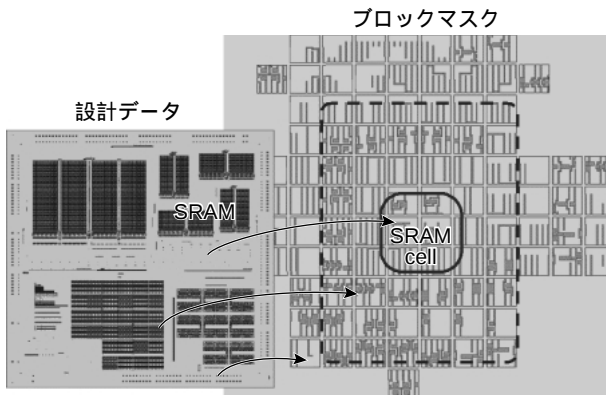


図-5 ブロック抽出図(ロジック/ゲート層)
Fig.5-Result of block extraction(Logic/gate layer)

な抽出結果が得られた。

BEXELWINでは様々なパターン形状、配置、ブロック仕様(個数、サイズ)に対応するために、以下に示す特徴を持つ複数の抽出モードと、高精度露光のための付加機能を有する。

- (1) 思考抽出モード：ランダムな配置のデータ、ホール層以外のメモリセルデータに有効。
- (2) 要素抽出モード：サイズが小さく、個数が少ないブロック仕様に対応。
- (3) 領域抽出モード：規則的な配置のデータ、ホール層などのメモリデータに有効。
- (4) 微細抽出モード：クリティカル層の高精度な描画をチップ全体にわたって安定的に行うのに有効。
- (5) 欠落ブロックの自動認識と欠落防止機能。
- (6) 微細パターン発生抑制機能。

(4)の微細抽出モードの必要性について付け加える。

可変矩形露光法においては、短辺幅の調整は電極に印加する電圧の制御によりなされるが、複雑な校正を行うことによる調整誤差や電極のチャージUPの影響を受けやすいなどの問題により、とくに0.1 μ m級の極微細パターンの安定形成は困難であった。そこで、ブロックマスク上に固定幅の長方形パターンを形成しておき、第1スリット像の投影位置を長辺方向のみ電気的に変化させる方法を使うことにより、微細パターンの安定形成を可能にした。特定線幅のみであれば、数種類程度のブロック消費でまかなえ、ショット数増加を招くような大きな問題にはならない。微細ゲート層描画の有効な方式である。⁽⁴⁾

露 光 補 正

電子ビーム露光においては、精度を劣化させる要因として、近接効果と、部分一括露光に特有なクーロン相互

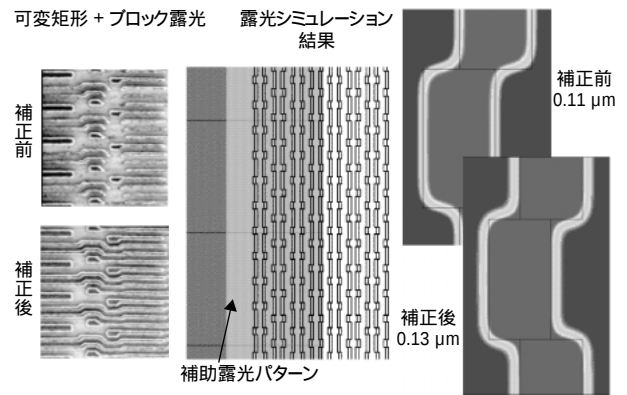


図-6 露光結果(0.13 μ m)と露光シミュレーション結果
Fig.6-0.13 μ m ruled resist pattern and result of simulator.

作用がある。BEXELWINは以下に示す方法により、これらの問題を補正している。

(1) 近接効果と補正方法

近接効果とは、基板による散乱ビームによって、実質的にパターンに与えられるエネルギー量が増加する現象をいい、とくにパターンが近接して密度が高く配置されている場合、孤立したパターンに比較して寸法が大きくなる。近接効果補正は、ビーム露光領域内での蓄積エネルギーが一定になるように各位置の露光量を制御するものである。

BEXELWINでは、小領域単位での照射面積の比率が、基準とする比率より小さい場合には露光量を補うための補助露光パターンを発生し、基準比率より大きい場合は、小領域内の照射量を最適化することにより高速補正処理を実現している。

(2) クーロン相互作用と補正方法

電子ビーム露光装置のコラム内では、クーロン相互作用により電子レンズの焦点がボケが生じる。これがブロック露光において高精度化を阻害する原因となっている。クーロン相互作用に対する補正手段として、Shadeブロック機能を提供している。Shadeブロックとは、ブロック内の開口部(パターン内部)にウエハ上で解像しない幅からなる梁を渡すことにより、ブロック内の照射面積を下げるものである。クーロン相互作用の影響によるビームの質の低下は電流量に比例するため、Shadeブロックにより1ショット内の電流量を低減させるように制御する。露光データ上では、ブロックパターンを微細パターンの集まりで表現することで補正を実現している。

補正処理前後での露光結果と露光シミュレーション結果を図-6に示す。左は可変矩形露光とブロック露光が混在した部分の露光写真であり、上部の補正前で存在する

未解像部が、下部の補正後では良好な結果が得られているのが分かる。⁽⁵⁾ 中央はメモリセル部の露光データであり、パターンのエッジ部(露光データ図の左側)には露光不足を補うための補助露光パターンを発生している。エッジ部のパターンにおいて、補助露光パターンがない補正前と、補助露光パターンを上から重ねて配置している補正後の露光シミュレーション結果を右に示した。目標寸法 $0.13\mu\text{m}$ に対して、補正前は $0.02\mu\text{m}$ の細が見られるが、補正後では目標寸法が得られている。

露光データ検証

製造工程の手番短縮，コストダウンを実現するためには，露光データ変換，露光補正処理を施して作成されたデータに対して，露光前に検証を行う必要がある。BEXELWINでは，設計データと露光データを重ね合わせて表示検証する機能により，データ処理におけるエラーを事前にチェックできる。データ処理エラーがないことが確認された露光データに対しては，露光強度分布関数を用いて露光後の形状をシミュレートし，再度，この結果と設計データとを比較する。これにより露光時のエラーをチェックする。露光後のパターンサイズが設計データどおりに維持されているかを検証し，許容範囲外の差を持つ部分をエラーとして検出することで，チップ全体のパターン精度を検証する。さらに，検証のあとの修復機能として，各ショットごとの露光量を編集することが可能である。

む す び

階層処理による高速，高圧縮変換，抽出シミュレータによる高効率ブロックパターンの完全自動抽出，近接効果およびクーロン相互作用対応の高精度補正，露光シ

ミュレーションほか，各種解析機能による露光前データ検証を実現し， $0.13\mu\text{m}$ ルールデバイス製造のニーズに応えたブロック露光データ処理システム「BEXELWIN」を開発，実用化した。

電子ビーム露光は，理論的に $0.1\mu\text{m}$ 以下の加工が可能であり， $0.13\mu\text{m}$ 世代を皮切りに数世代にわたる将来性のある露光手段である。また，BEXELWINを用いたブロック露光技術は，繰り返しパターンの多いメモリデバイスに最適であるが，ブロック種類数が十分多いことにより，ロジックデバイスにも有効である。つまり，両方を併せ持つシステムLSIに適した露光手段対応のシステムであると言える。さらに，実品種運用においては，光＋電子ビームによるミックスアンドマッチに適用することで，より低コストで高スループット，高精度を達成できる露光データ作成が可能となる。

参考文献

- (1) - : 設計・製造を根本から見直す30年に1度の変革が起こる．日経マイクロデバイス，7月号，pp.36-39(1999)
- (2) H. Hoshino et al. : Data Processing for Block Exposure System．HTCP，p.18，1998.
- (3) Y. Machida et al. : Proximity Effect Correction for Block Exposure System．HTCP，p.12，1998.
- (4) 丸山ほか：EB一次元可変ブロック露光法を用いた微細パターン形成．第60回応用物理学会予稿集No.2，応用物理学会，1999，p.604.
- (5) T. Nagata et al. : Proximity effect correction by a supplementary-exposure method in the high-throughput block-exposure electron-beam direct-writing. Proc. SPIE，3331，p.334，1997.