

審査の結果の要旨

論文提出者氏名 小山 清美

VLSIの微細化大規模化は、抽象化が進む設計段階と物理的な制約や問題を伴うプロセス段階との距離を大きくした。限界のごく近傍で半導体上のパターンを形成するのも当然となっており、設計をそのまま処理しても目指すパターンは実現されない。現在の半導体開発と製造において、このような論理のパターンと物理のパターンとのギャップを埋める役割は、リソグラフィーにおけるパターン処理に委ねられている。また、半導体の微細化大規模化は、このように複雑化するパターン処理への量的な負担も膨大にしつつある。本論文は、このような先端リソグラフィーにおけるパターン処理に関して、設計の階層構造を生かした高速化、超解像露光の位相シフトの自動配置、電子ビーム描画装置を用いる統合マスク作成システム等々の実現を目的として、申請者が半導体企業の最前線において行った研究開発の成果をまとめたもので、全体で9章から構成されている。

第1章の序論においては、半導体の製造工程とリソグラフィー技術の役割を概観し、上記の問題意識と研究課題を整理している。

第2章は先端リソグラフィーにおけるパターン処理の技術課題と題し、半導体微細化の中でパターン処理について、その課題ごとに基本的な図形処理の演算量を見積もり、大規模化によっていかに計算量が増大するかを示している。次に微細化に伴う物理的問題について考察し、解像度と焦点深度との背反的關係から超解像露光技術導入の必然性を論じ、そのための位相シフト配置、光近接効果補正などのパターン処理の役割と課題を示している。

続く第3章は階層処理のためのパターン処理技術と題し、本論文の主要成果の一つである設計データの階層構造を可能な限り生かしたパターン処理アルゴリズムを定式化し、その実装と評価結果を述べている。設計データはセルの階層構造からなる。全展開パターン数とセル内パターン数の総和との比である **Regularity** を高めるため、申請者が考案したアルゴリズムは、セル間の重複の有無と種類を求め、その結果からセル展開の必要性を判断する。重複グラフを定義し、幅優先探索により重複の多いセルから順に上記の判断を行い、重複セルが消滅した時点でセル展開を停止することで **Regularity** の低下を押さえている。またアレイセルに対しては正規化処理を導入した。以上のアルゴリズムの実装と評価の結果、従来のフラット処理に比べて最大で2桁の効率化が実現できたと述べている。

第4章は解像度向上のパターン処理技術と題し、同じく本論文の主要成果の一つとして、レベソソソ超解像マスクの位相シフトの自動配置アルゴリズムと近接効果補正アルゴリズム

の定式化と実装方法を述べている。申請者は、パタンの近接度からシフト配置の要不要と必要度を算定し、必要度の高さで重み付けした隣接関係のグラフの中から重みの総和を最小とする最小全域木を求め、これを二部グラフ化する手順で位相シフトの自動配置アルゴリズムを導いた。光近接効果補正に関しては、高速化のためルールベースとモデルベースを組み合わせる方法を実用化している。

第 5 章、第 6 章は、可変整形電子ビーム描画の効率化のパタン処理とデータ変換技術について述べている。特有な基本パターンの投影描画機能を有する電子ビーム描画装置の高速性と精度を引き出すため、基本図形分割、フレーム分割などのデータ変換を階層性を保って行う方法を考案し、これを第 3 章で述べた階層パタン処理と一体化し、さらに複数プロセッサによる並列処理で高速に実現するシステムを構成した。処理図形数の圧縮、データ圧縮、並列度向上などで、従来方式に対して総合的に 2 桁近い性能向上が得られたと述べている。

第 7 章は超解像対応パタン処理システム試作と題し、第 4 章で述べたレベンソン位相シフト自動配置と光近接効果補正の現在の業界標準設計ツール上への実装とその評価結果について述べている。

続く第 8 章は、電子ビームテストの開発と題し、設計データのパタン情報を活用し、チップ上の任意箇所電圧波形を非接触で測定可能な VLSI 検査装置の開発結果について述べている。

最後の第 9 章は結論であり、以上の成果を総括するとともに、半導体技術の中で本研究の果たした役割について論じている。

以上、要するに、本論文は、先端リソグラフィ分野で発生する複数の困難な課題に対し、基本に立ち返った考察に基づき、独自性の高いパタン処理アルゴリズムを開発して解決を与えたもので、半導体の大規模化の推進に本研究が与えた影響、および果たした役割は大きい。また、本研究はパタンを扱う画像処理や図形処理の分野、超解像などの光学技術への波及効果を有し、システム情報学上の貢献が大きい。よって、本論文は博士(情報理工学)の学位論文として合格と認める。