

学 位 論 文 題 名

Study on Maskless Lithography using Virtual Mask Model

(仮想マスクモデルによるマスクレスリソグラフィに関する研究)

学位論文内容の要旨

現在、半導体の回路パターン及びLCDとPDPのようなフラットディスプレイの微小なパターンを作るために紫外線による露光工程が用いられる。この工程に使われる露光機としてフォトリソグラフィには、マスクの製作に高いコストがかかり、また多様なパターンに対応するために多くのマスクを用意しなければならないし、柔軟な製造には適合であるとは言えない。

最近、それらの問題点を解決するために、マスクのない露光方法に関心が高まり、数多くの研究が盛んに発表される。その方法には、レーザ光を使ったダイレクトライティング(direct writing)方式とインクジェット(Ink Jet)方式と空間光変調器(Spatial Light Modulator: SLM)を用いた方式が挙げられる。特に、空間光変調器による方式は、他の方式よりもコストと柔軟性の面で利点があっても、ライン/スペースと均一なエッジのような高い精度のパターンを作り出すことが難しいという問題がある。

この理由は、今までの研究では露光機のステージの運動を考慮しなく、空間光変調器から映るイメージを静的に作成する方法を取ったことと空間光変調器を構成するミラー間のギャップによることであると考えられる。

本研究は、この問題点を解決するために空間光変調器として、デジタルマイクロミラーデバイス(Digital Micromirror Device:DMD)を用いたマスクレスリソグラフィ手法と露光システムを提案した。本手法では最終のパターンを作るための総露光量の分布をサブストレイト(substrate)の各移動ステップの露光量の分布に分割して、それを変換して、各ステップのDMDのバイナリイメージを生成する。この分割と変換のために、本研究ではサブストレイトの移動とマイクロミラーとの関係を幾何学的な観点から露光量の瞬間光強度分布(Instantaneous Overlay Intensity Basis)を考え、パターン生成プロセスをこの瞬間光強度分布の重なりとしたモデルを導いた。また、マイクロミラーと設計されたパターンとの占有関係を表す占有率(Occupancy Limit)による瞬間光強度分布を変えることでパターンの幅を自由に調整することが本研究の特徴である。

本研究の提案した手法を検証するために、DMDのバイナリイメージを生成するシステムと試作露光機を開発し、多様なパターンを実験を行った結果はパターンのライン/スペースが正確に再現され、また、均一なパターンのエッジが再現された。その実験結果はコンピュータでシミュレートした結果とも誤差内に合った。この成果を実際のフラットディスプレイパネル(Flat Display Pannel)の露光機に生かすために、さらに露光データを高速に転送する専用のボードの開発とデータの圧縮方法とも考案した。

学位論文審査の要旨

主査	教授	小野里	雅彦
副査	教授	山下	裕
副査	教授	金子	俊一
副査	教授	北	裕幸

学位論文題名

Study on Maskless Lithography using Virtual Mask Model

(仮想マスクモデルによるマスクレスリソグラフィに関する研究)

現在、半導体の回路パターン及びLCDとPDPのようなフラットディスプレイの微小なパターンを作るために紫外線による露光工程が用いられている。この工程に使われるマスクの製作には多くのコストと時間がかかり、電子情報機器産業における大きな技術課題となっている。

本論文において著者は、こうしたリソグラフィ工程のマスク利用に関わる問題を解決するために、空間光変調器(Spatial Light Modulator: SLM)として、デジタルマイクロミラーデバイス(Digital Micromirror Device: DMD)を用いたマスクレスリソグラフィ手法とそれに基づくパターン露光システムを新たに提案している。

半導体等の製造プロセスにおいてマスクを使用しない露光方法は、これまでも研究されており、レーザ光を使ったダイレクトライティング(direct writing)方式、インクジェット(Ink Jet)方式、空間光変調器を用いた方式などがある。特に、空間光変調器による方式は、他の方式よりもコストと柔軟性の面で利点を有しているが、ライン/スペースと均一なエッジのような高い精度のパターンを作り出すことが難しいという問題を抱えていた。

本論文で提案している手法は、個別に制御可能な微小ミラーが2次元格子上に多数配置されたDMDを用い、進行方向に小さな傾き角を持たせて微小量移動させながら露光を繰り返すものである。これにより固定的なマスクを用いることなく、デジタルデータによる仮想的なマスクを構成して多様なパターンを迅速に実現している。この露光の工程においては、製造対象物上に最終のパターンを作るために必要となる総露光量の分布を求め、それをサブストレイト(substrate)の各移動ステップの露光量の分布に分割・変換して、各ステップにおけるDMDのバイナリイメージを生成している。この分割と変換のために、本研究ではサブストレイトの移動とマイクロミラーとの関係を幾何学的な観点から露光量の瞬間光強度分布(Instantaneous Overlay Intensity Basis)を考え、パターン生成プロセスをこの瞬間光強度分布の重なりとしたモデルを導いている。また、マイクロミラーと設計されたパターンとの占有関係を表す占有率(Occupancy Limit)による瞬間光強度分布を変えることでパターンの幅を自由に調整できることを実現している。提案された手法は、まずコンピュータシミュレーションによって、各種の条件設定と生成されるパターンとの間の関係が詳しく分析されている。

本論文で提案する仮想マスクにおけるマスクレスリソグラフィの方法は、微小移動を繰り返すパターンの瞬間光強度分布を時間的に変化させることで精密で自由度の高い露光パターンを実現しているため、空間光変調器から投影されるイメージを静的に利用する従来の方法が抱えていた問題点—たとえば、空間光変調器を構成するミラー間のギャップが生じ、滑らかなパターン生成が困難なこと—を回避できている。

本論文においては、提案した手法を実験的に検証するために、DMDのバイナリイメージを生成するシステムと試作露光機を開発し、多様なパターンに対する実験を行っている。その結果としてパターンのライン/スペースが正確に再現され、また、均一なパターンのエッジが再現されており、実験結果と構築したモデルに基づいて行ったコンピュータ/シミュレーションの結果とは誤差内で合致している。この成果を大面積のパターン形成が必要となる実際のフラットディスプレイパネル(Flat Display Pannel: FDP)用の露光機に生かすために、さらに露光データを高速に転送する専用のボードの開発とデータの圧縮方法を考案し、製作・評価を行っている。FDPを露光するために必要となるDMDのバイナリイメージは膨大なデータ量となるため、通常の方法では実時間での露光プロセスに追従できないが、本論文では実時間性の実現のためのパターン処理の分散化のアーキテクチャについて実現手法を示している。

これを要するに、著者は、微小移動を伴う空間光変調機の瞬間光強度分布の変化により、マスクレスリソグラフィを実現する手法の理論と、それに基づく露光デバイスの実装技術に対する新知見を得たものであり、半導体素子やフラットディスプレイパネル等の電子情報デバイス製造法の高度化に貢献するところ大なるものがある。よって著者は、北海道大学博士(工学)の学位を授与される資格あるものと認める。