

論文 / 著書情報
Article / Book Information

題目(和文)	高精度露光技術によるリソグラフィプロセス最適化と3D形状創成
Title(English)	
著者(和文)	村上成郎
Author(English)	Seiro Murakami
出典(和文)	学位:博士(工学), 学位授与機関:東京工業大学, 報告番号:甲第10540号, 授与年月日:2017年3月26日, 学位の種別:課程博士, 審査員:初澤 毅,柳田 保子,新野 秀憲,柳田 保子,吉岡 勇人
Citation(English)	Degree:Doctor (Engineering), Conferring organization: Tokyo Institute of Technology, Report number:甲第10540号, Conferred date:2017/3/26, Degree Type:Course doctor, Examiner:,,,,
学位種別(和文)	博士論文
Category(English)	Doctoral Thesis
種別(和文)	審査の要旨
Type(English)	Exam Summary

(博士課程)

論文審査の要旨及び審査員

報告番号	甲第	号	学位申請者氏名	村上 成郎	
論文審査 審査員		氏名	職名	氏名	職名
	主査	初澤 毅	教授	柳田 保子	准教授
	審査員	新野 秀典	教授	吉岡 勇人	准教授
		進士 忠彦	教授		

論文審査の要旨 (2000 字程度)

本論文は「高精度露光技術によるリソグラフィプロセス最適化と3D形状創成」と題し、以下の6章からなっている。

第1章「緒論」では、半導体回路の製作に用いられる写真製版技術(フォトリソグラフィ)について、種々の露光装置の原理を比較検討するとともに、回路の線幅微細化とそれに要求される光学的な性能について示している。また技術進展の著しい本分野において、装置の長寿命化および経済性を向上する必要性について明らかにし、高分解能と露光領域拡大の両立を可能とする露光プロセスの最適化について、技術的課題を示している。さらに露光機多機能化の一例として、露光量制御により3次元形状を一括創成する手法を提案するとともに、そこで用いるマスク設計法の課題について述べている。

第2章「FDTDによる照明光学系解析を用いたアライナ解像性能の安定化」では、厳密電場解析の一種であるFDTD(Finite-Difference Time-Domain)解析により、マスクパターン透過後の光強度分布について数値解析を進め、レジスト露光面上での回折光の強度分布を明らかにしている。これより、レジストの線幅誤差は光源のサイズおよび入射角度と密接な関連があることを明らかにするとともに、誤差低減のためにはレジストの露光・現像感度特性を考慮した設計が必要であることを示している。次に、露光光学系による線幅誤差を小さくする方法として、点光源と面光源の機能を併せ持つ多重平滑化照明系を提案するとともに、マイクロレンズアレーを用いた照明光学系として実現している。また、フォトレジストを用いた実験結果との比較検討を行い、本解析により設計した光学系の有用性を示している。

第3章「露光工程多様化に対応するステップの開発」では、数十nmオーダーの解像力を必要とする集積回路用ステップから、100mmを超える大面積一括露光が必要なカスタムIC用ステップに至る、相反する技術的仕様を満たすための設計手法について検討している。まず、ステップの経済的な寿命を延ばすために、露光領域と分解能を両立可能なレンズ走査型光学系を提案している。この手法では、マスクと基板を機械的に同期走査することにより帯状の領域を連続露光し、レンズのサイズや装置価格の上昇を抑制することに成功している。次に、照明の瞳サイズを変えることが可能な可変NA(Numerical Aperture)光学系を提案し、照明光学系の内部に機械的絞り機構を組み込むことにより、瞳サイズの調整を実現している。本手法により、解像度 $0.4\sim 4\mu\text{m}$ において露光領域直径 $10\text{mm}\sim 110\text{mm}$ の露光仕様に対応可能なことを示している。

第4章「投影露光による3D形状の創成」では、マイクロレンズなどの立体形状を持つ微小構造物を、投影一括露光により製作する手法を提案している。ここではレジストの露光階調の変化により3D形状を創成するため、マイクロドットの密度を調整することにより濃淡階調を実現するデジタルマスクの設計法を示している。次に、現像時にマイクロレンズの高さが減少する対策として、減少分を見込んだ透過率を持つマスクを製作する手法について述べている。また、マイクロレンズの表面粗れ低減について、焦点ずれによるぼけを導入する方法を提案し、実験により有効性を確かめている。これらより、波面収差の誤差が 0.5λ 以下を満たすマイクロレンズアレーの設計手法を実現している。

第5章「解析的手法による3D形状創成の提案」では、レンズの設計時間短縮および実プロセスによる実験負荷低減のため、シミュレーションを主体とした3D形状創成法について提案している。ここでは光学設計ソフトウェアの一種であるCODE-Vを用いて、第4章で提案したデジタルマスクの光学場を計算するとともに、レジストの露光感度・現像曲線を考慮した現像後の断面曲線を導出している。次にこの形状を設計仕様と比較し、デジタルマスクの修正を行いながら波面収差を収束させる計算アルゴリズムを提案している。また、波面改善の一手法として非球面関数の導入を提案しており、6次までの非球面関数について計算試行をもちいた最適解の取得方法を示している。さらにデジタルマスクに起因する表面粗れを低減するため、デジタルマスクを中心軸周りに回転して多重露光する方法を考案し、その有用性を示している。

第6章「結論」では、本論文の成果を総括するとともに、将来課題について述べている。

以上要するに本論文は、高精度露光技術の分解能や露光範囲などの最適化のため、物理モデルに基づく数値解析と実験結果の詳細な検討により技術的課題の解決方法を示すとともに、ステップ露光技術による3D形状の創成とそのマスク設計手法の有用性を示したもので、工学上、工業上貢献するところが大きい。よって本論文は博士(工学)の価値のあるものと認められる。

注意:「論文審査の要旨及び審査員」は、東工大リサーチリポジトリ(T2R2)にてインターネット公表されますので、公表可能な範囲の内容で作成してください。