

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)	論文要旨
Type(English)	Summary

論文要旨

THESIS SUMMARY

専攻： Department of	メカノマイクロ工学	専攻	申請学位 (専攻分野)： 博士 (工学)
学生氏名： Student's Name	村上 成郎		指導教員 (主)： 初澤 毅
			指導教員 (副)： 柳田 保子

要旨 (和文 2000 字程度)

Thesis Summary (approx.2000 Japanese Characters)

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、装置の経済性を向上する必要性について明らかにし、半導体量産分野と少量多品種分野に分け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、投影光学系による 3 次元形状を一括創成する手法と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、厳密電磁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、露光パターンの線幅誤差は光源のサイズと相関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解析及び露光条件設定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、光源の大きさを可変とする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 オーダの解像力を必要とする集積回路用ステップから、100 nm 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。高い解像性能を追求する半導体量産分野では、露光設備高騰を抑制すべく、半導体製造工程の見直しを行い、工程を先端工程と中間工程に分割し、各々に特化した露光機を開発した。先端工程においては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。中間工程においては、従来の i 線ステップより NA (Numerical Aperture) を下げて画角を拡大した投影光学系を導入することで生産性向上を実現している。多様な露光仕様への対応が求められる少量多品種分野では、投影光学系の瞳サイズを変えることが可能な NA 可変光学系を提案し、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 0.5 μm ~4 μm において露光領域直径 10 mm~110 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バイナリマスクの設計法を示している。次に、レジスト内での露光エネルギー吸収により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、波面収差として設計収差分とプロファイル誤差分を合わせて 1 λ のマイクロレンズの試作形成を実現している。

第 5 章「解析的手法による 3D 形状創成の提案」では、マスク設計の効率化及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 章で提案したマイクロドットマスクについて投影光学系透過後の空間像強度分布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。また、マイクロドットに起因する表面粗れを低減するため、複数のバイナリマスクにより多重露光する方法を考案し、その有用性を示している。波面収差改善の一手法として非球面関数の導入を提案しており、コンピュータリソグラフィ技術により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。

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。

備考：論文要旨は、和文 2000 字と英文 300 語を 1 部ずつ提出するか、もしくは英文 800 語を 1 部提出してください。

注意：論文要旨は、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。

(博士課程)
Doctoral Program

論文要旨

THESIS SUMMARY

専攻 : Department of	メカノマイクロ工学 専攻	申請学位 (専攻分野) : Academic Degree Requested	博士 (工学) Doctor of (工学)
学生氏名 : Student's Name	村上 成郎	指導教員 (主) : Academic Advisor(main)	初澤 毅
		指導教員 (副) : Academic Advisor(sub)	柳田 保子

要旨 (英文 300 語程度)

Thesis Summary (approx.300 English Words)

This paper is titled as "Optimization of Lithography Process and Creation of 3D Shape by High-Precision Exposure Technology", consists of the following 6 chapters.

Chapter 1 "Introduction" compares the principles of various exposure systems with respect to photolithography used in the manufacturing of semiconductor circuits, and presents technical problems in mass production type exposure systems.

Chapter 2 "Optimization of aligner resolution performance using illumination optical system analysis by FDTD" derives intensity distribution of diffracted light by FDTD (Finite-Difference Time-Domain) analysis. It is clarified that the line width error of the exposure pattern correlates with the size of the light source. A prototype of an illumination system that makes the size of the light source variable shows its usefulness by comparing with experimental results.

Chapter 3 "Development of steppers to correspond with diversification of exposure process" proposes a lens scanning type optical system which can achieve both an exposure area and resolution in order to extend equipment life span of a stepper. And it proposes an NA variable optical system corresponding with the specification of the exposure area diameter of 10mm to 110mm at the resolution of 0.5 μ m to 4 μ m.

Chapter 4 "Creating 3D Shape by Projection Exposure" proposes a method of producing microstructures having a three-dimensional shape such as micro-lens-arrays by projection exposure. As a mask design, we showed a method to realize gradation distribution by controlling the density of microdots and achieved trial fabrication of micro-lens-arrays satisfying wave aberration error of 1 λ or less.

Chapter 5 "Proposal of 3D shape creation by analytical method" proposes an analytical method of 3D shape creation in order to reduce trial and error in actual process. We proposed the introduction of an aspherical function as a method of wave aberration improvement, and shows the optimal solution using computer lithography technology.

Chapter 6 "Conclusion" summarizes the results of this paper and describes future issues.

備考 : 論文要旨は、和文 2000 字と英文 300 語を 1 部ずつ提出するか、もしくは英文 800 語を 1 部提出してください。

Note : Thesis Summary should be submitted in either a copy of 2000 Japanese Characters and 300 Words (English) or 1copy of 800 Words (English).

注意 : 論文要旨は、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。

Attention: Thesis Summary will be published on Tokyo Tech Research Repository Website (T2R