

氏名	老 泉 博 昭
学位の種類	博 士 (工学)
学位記番号	工博甲第252号
学位授与の日付	平成19年3月23日
学位授与の条件	学位規則第4条第1項該当
学位論文題目	極端紫外線(EUV)を用いたリソグラフィ基礎技術
論文審査委員	主 査 教 授 並 木 章 " 山 崎 二 郎 " 西 垣 敏 " 和 泉 亮

学位論文内容の要旨

現在、最先端の半導体の加工技術は45nmから32nmを研究対象とする時代になってきている。このような微細加工を量産技術として実現する上で、波長が13.5nmである極端紫外線(EUV)リソグラフィが必須である。本論文では、EUVリソグラフィの実用化をはかる上での3つの課題にチャレンジしている。

第1の課題. EUV露光システムの開発とその性能検証

高開口数(NA=0.3)の非球面2枚光学系からなるEUV露光システムの開発を行った。当初の光学系では光学系保持組み立て時に不具合があり大きな波面収差が発生したが、光学系保持方法および非球面加工法を改良し、最終波面収差0.91nm RMS($\lambda/15$)を得て目標値(1nm以下)を達成した。しかしながら通常照明では解像が期待できる最小加工寸法50nmのレジストパターンの形成ができなかった。この原因として、光学系の中心部に遮蔽部があるため0次光が遮蔽され、異なる2方向から来る1次回折光の干渉成分がパターンコントラストを低下させることを光学像計算から明らかにした。この1次回折光の干渉を防ぐために輪帯照明を導入し、それにより解像度45nmのレジストパターンの形成に成功した。

第2の課題. 高性能EUV分子レジストの開発

形成パターンのラインエッジラフネス(LER)が存在するが、これは露光部と未露光部の境界におけるレジスト材の溶解性にバラつきがあり、レジスト高分子の集合体が発生することによる。論文では集合体を構成する高分子を小さくすることによりLERを低下させることを試みた。分子設計にあたっては、LER発生のもととなる溶解性のバラつきを抑制するため分子レジストの保護基の数を単分散(1分子当り2個)に制御すること、さらに、分子レジストの機械的強度を増強しパターン倒壊を防止するために保護基の位置も制御することを意図した。また、分子レジスト間水素結合を形成しやすいように水酸基を外側に配置した。この意図を組み込んだポリフェノール系分子レジストを用い、パターン倒壊の発生は激減し、かつ露光量12mJ/cm²、解像度28nm、LER3.6nm(3 σ)を達成した。開発したレジストの性能は、現状トップレベルの高分子レジストの性能をも凌駕し、世界最高レベルとなっている。

第3の課題. 水素原子を用いたEUV光学系汚染物の除去技術の開発

レジスト露光時に発生するアウトガスに含まれる有機物や水分が原因となり露光光学系に発生するカーボンや酸化物によりEUV光学系が汚染され、反射効率が低下する。論文では、赤熱Wフィラメント上での熱解離により発生させた原子状水素によりカーボン系汚染物や酸化物が除去されることをXPS, AES, 及びAFM等の測定装置にて確認した。さらに、水素清浄行程の後、ミラーはほぼもとのEUV反射性能を回復できることを分光反射率測定により実証した。また実用化に必須となる原子状水素の輸送に関して、絶対密度測定と石英管輸送した原子状水素によるクリーニングの実証を行った。

本結果は EUV 光学系に要求されている厳しい寿命要件を大幅に改善でき、EUV リソグラフィの実用化を大きく前進させることになった。

学位論文審査の結果の要旨

以上のように、本論文では、非球面光学系を搭載した EUV 露光システム、回路パターンのラインエッジラフネスを小さくする高性能レジストの開発、および EUV 反射ミラーのコンタミネーション除去技術を開発し、EUV リソグラフィの実用化に向け大きな貢献を果たした。よって、本論文は博士（工学）の学位論文に値するものと認められる。

審査会及び公聴会においては、水素原子による酸化層の還元の時発展の様子、汚染物堆積に選んだ基板、ホットワイヤでの水素クラッキング、さらにラインエッジラフネスを軽減できる新レジスト材料の微視的機構などについて質問が出されたが、いずれについても著者の的確な説明により質問者の理解を得ることが出来た。

以上の結果、本審査委員会は著者が最終試験に合格したことを認める。