

氏名	寺井 護	
学位の種類	博士（工学）	
学位記番号	第 6299 号	
授与報告番号	乙第 2812 号	
学位授与年月日	平成 28 年 3 月 22 日	
学位授与の要件	学位規則第 4 条第 2 項該当者	
学位論文名	半導体用レジストの微細加工技術に関する研究	
論文審査委員	主査教授 堀邊 英夫	副主査教授 小畠 誠也
	副主査教授 山田 裕介	

論文内容の要旨

本論文は、半導体素子の微細化技術についてレイリーの式 ($R = k_1 \lambda / NA$ 、 R : レジスト解像度、 k_1 : ファクター、 λ : 波長、 NA : レンズの開口数) によって整理される各パラメータを改善していくための技術開発について各種の研究を行った。

第 1 章では、半導体のレジスト微細加工に関する研究背景を述べた。

第 2 章では、 k_1 ファクターの改善による微細化手法であるダブルパターンニングプロセスにおいて、従来の CVD 法の課題であった被加工膜の凹凸にも対応できるペルヒドロポリシラザンを用いたスピコート法により、ダブルパターンニングの実証に成功したことを記載した。ペルヒドロポリシラザンの SiO_2 化には過熱水蒸気加熱が有効であり、短時間の加熱処理 (300 °C 30 秒) で SiO_2 化が可能であることを明らかにした。

第 3 章では、 NA の改善による微細化手法である液浸露光プロセスにおいて、液浸露光機の不具合要因となるウェハ裏面への水の回り込みを抑制するため、シランカップリング剤を用いたウェハ端部の撥水化処理を検討し、撥水性と塗布性の両立には長鎖アルキル基を有するシランカップリング剤が有効であることを見出した。従来の撥水化手法では、不具合を生じない露光機の最大スキャンスピードは 150 mm/sec であったが、本手法によりスキャンスピードは 3.3 倍 (500 mm/sec) まで向上できることを確認した。

第 4 章では、 NA の改善による微細化手法である液浸露光プロセスにおいて、固有のレジストパターン欠陥である気泡欠陥を抑制するためには、動的接触角に加えてトップコートの吸水性が重要であることを明らかにした。気泡欠陥との関係を総合的に判断できる有効ヒステリシス法を考案し、気泡欠陥との相関性が高いことを実証した。

第 5 章では、 k_1 ファクターの改善による微細化手法であるパターン縮小技術において、従来材料では対応できなかった ArF レジストに対応できるパターン縮小材料は、パターンピッチやフォーカス、露光量にはほとんど影響しないことを明らかにした。また、パターン縮小処理後のパターンプロファイル、リソグラフィマージン、パターン均一性、エッチング耐性、及び欠陥率に悪影響がないことを確認した。

第 6 章では、本論文を総括した。

論文審査の結果の要旨

レジストパターンサイズの微細化は、レイリーの式 (解像度 $= k_1 \lambda / NA$ 、 k_1 : プロセスファクター、 λ : 波長、 NA : レンズの開口数) に依存しており、各パラメータの向上によりレジストの高解像度化が達成可能である。本論文の著者は、各パラメータに関して技術課題を明白にするとともに、それぞれのパラメータの向上によりレジストの微細化を達成しており、本内容を簡潔且つ明快に論理展開している。

本論文では、 k_1 ファクターの改善による微細化手法の 1 つであるダブルパターンニングプロセスについて言及している。従来の化学気相成長法の課題であった被加工膜の凹凸に対応するために、ペルヒドロポリシラザンを用いスピコート法による 2 層ハードマスク処理によって、簡便なダ

ブルパターンニング技術の達成に成功している。ペルヒドロポリシラザンの SiO_2 化には水蒸気加熱が有効であり、短時間の加熱処理により SiO_2 化が可能であることを明確にしている。さらに、 k_1 ファクターの改善策として、レジストパターン縮小技術に関する研究を行い、露光波長によって化学構造が異なるレジスト樹脂骨格に対応した新規なレジストパターン縮小技術を提案し、最終的に最適なレジストパターン縮小用材料・プロセスを見出している。

NA ファクターの改善による微細化手法としては、液浸露光プロセスに関して述べている。液浸露光機の不具合要因となるウェハ裏面への水滴回り込みを抑制するため、シランカップリング剤を用いたウェハ端部の撥水化処理を検討し、撥水性と塗布性を両立するには長鎖アルキル基を有するシランカップリング剤が有効であることを明らかにしている。従来の撥水化手法であるヘキサメチルジシラザンを用いた場合、不具合が発生しない露光機のスキャンスピードは 150 mm/sec であったが、本手法を用いることでスキャンスピードを 3.3 倍に高速化している。また、レジストパターン欠陥の原因となる気泡発生を抑制するには、トップコート膜としてレジストに対する動的接触角の制御に加えトップコートの吸水性の制御が重要であることを明白にしている。最終的に気泡欠陥との関係を総合的に判断できる有効ヒステリシス法を新たに考案し実証している。

以上のように、本論文の著者は、レイリーの式で示される各パラメータの値に対して、半導体用レジストの材料・プロセスの観点から値の向上を図り、最終的に半導体の超微細化を達成している。これらの研究成果は高分子科学の発展に寄与するところが大きく、よって本論文の著者は博士（工学）の学位を受ける資格を有するものと認める。