

学位論文題名

化学増幅型レジストを用いた極微細パターン形成に関する研究

学位論文内容の要旨

LSIデバイスの発展は光リソグラフィ技術によって牽引されてきた。さらなる素子の微細化に伴い、この光リソグラフィ技術によりレジストパターンをより微細に精度良く形成する必要が生じている。本研究では、微細化の要求から新しいコンセプトに基づいて使われ始めた化学増幅型レジストを用いた単層レジストプロセスにおける下地基板依存性、及び、その制御法について明らかにした、また、微細化の要求から開発が加速されてきた多層レジストプロセスにおける寸法制御性について明らかにすると共に、実用化に対しての課題と指針を示した。

(1) 極微細パターン形成用単層レジストとして化学増幅型レジストが急速に使われるようになってきている。化学増幅型レジストは光で酸を発生する光酸発生剤を含んでおり、露光後の熱処理で酸が連鎖反応することを利用して高感度化しているレジストである。しかしながら、このレジストを用いた極微細パターン形成では未だ不明な点や課題が多く残されている。本研究では主に化学増幅型レジストの特徴と言える基板材質依存性の観点から、パターン形成特性に影響する要因の究明検討を行った。

基板材質依存性として湿式現像後にタングステン膜基板上で化学増幅型レジストのパターン剥がれが発生することを明らかにし、その対策としてレジスト塗布前に基板へのシラン雰囲気処理が有効なことを明らかにした。また、下地膜基板に含まれている不純物がパターン形成特性に大きく影響することを明らかにすると共に、熱処理による下地膜基板の清浄化効果について検討した。すなわち、化学増幅型レジストを適用して極微細パターンを形成するためには、反射防止膜を含め下地基板の光学的特性を制御すると共に、化学的特性の制御が重要なこと、さらに、熱処理等のプロセス的な処理により下地膜基板を清浄化する必要があることを明らかにした。

(2) 極微細パターン形成方法としてシリル化プロセスの検討を行った。このシリル化プロセスはレジストをSi元素を含むガス中で処理することによりレジスト中にSi元素を導入して耐ドライ現像性を付与したものである。

シリル化領域の制御性を向上させシリル化プロセスの実用化を図るため、シリル化レジスト塗布膜の薄膜化の検討を行うと共に、薄膜のシリル化レジストを使いこなすためドライ現像条件の最適化検討を行った。さらに、薄膜シリル化レジストを上層レジストとして用いる多層レジストプロセス(2層シリル化プロセス)の検討を行った。このプロセスの定量的なリソグラ

フィ特性を明らかにすると共に、従来からシリル化プロセスの課題であったパターンエッジ部の荒れは、ドライ現像条件とレジスト組成の最適化、光学コントラストの改善等によって制御できることを明らかにした。

(3) より実用化に近い多層レジストプロセスとして、湿式現像を併用する2層レジストプロセス(Si含有2層レジストプロセス、及び、湿式現像後にシリル化する2層シリル化プロセス)の定量的な寸法制御性評価を行うと共に、多層レジストプロセス実用化の観点から下層レジスト材料、及び、レジスト剥離法に関する研究を行った。

Si含有レジストを用いたSi含有2層レジストプロセス、及び、上層レジストの湿式現像後に上層レジストに対してシリル化処理を行う2層シリル化プロセスの検討を行った。これらのプロセスはArFエキシマ露光により0.10 μ m近傍の矩形パターン形成が可能であることを明らかにすると共に、今後のF₂エキシマ露光対応プロセスとして有望なことを明らかにした。

多層レジストプロセスの実用化を図るため、下層レジスト材料の平坦化特性、及び、ドライ現像後のレジスト剥離法に関して定量的な評価を行なった。下層レジスト塗布後の表面残留段差は下地段差の幅や高さによって大きく変わること、また、この下層レジストの平坦化特性は下層レジスト材料の熱流動特性と熱架橋特性によって決まることを明らかにした。ドライ現像後のレジスト剥離は多層レジストプロセス実用化の最大の課題であったが、プラズマアッシング処理、あるいは、ヒドロキシアミン系剥離液による有機樹脂除去処理、及び、その後の仕上げ酸洗浄により実用化レベルで可能なことを定量的に明らかにした。

学位論文審査の要旨

主査	教授	嶋田志郎
副査	教授	小平紘平
副査	教授	宮浦憲夫
副査	助教授	牧野英司

学位論文題名

化学増幅型レジストを用いた極微細パターン形成に関する研究

LSIデバイスの発展は光リソグラフィ技術によって牽引されてきた。さらなる素子の微細化に伴い、この光リソグラフィ技術によりレジストパターンをより微細に精度良く形成することが必要となっている。本研究では、微細化の要求から新しいコンセプトに基づいて使われ始めた化学増幅型レジストを用いた単層レジストプロセスにおける下地基板依存性とその制御法を明らかにし、化学増幅型レジストを用いた多層レジストプロセスのリソグラフィ特性を明確にすると共に、実用化に対しての課題と指針を示した。本論文は5章から構成されている。

第1章では、化学増幅型レジストを用いて極微細パターンを形成する場合の現状と課題を述べ、本論文の構成と概要を記す。

第2章では、化学増幅型レジストを単層レジストプロセスとして用いる場合の下地基板依存性に関して述べた。化学増幅型レジストを用いて極微細パターンを形成するためには、下地基板に対する光学特性の制御が肝要なこと、また、反射防止膜を含め下地基板の化学的特性制御が肝要なことを明らかにした。すなわち、湿式現像後にタングステン膜基板上に生じる化学増幅型レジストのパターン剥がれ対策、パターン形成特性に大きな影響を及ぼす無機系反射防止膜基板に含まれている不純物 (H_2O 、 NH_3) の除去方法、さらに、有機系反射防止膜 (BARC) に対する塗布膜厚制御とBARCの熱処理温度の重要性を明らかにした。

第3章では化学増幅型レジストを用いたシリル化プロセスについて述べた。シリル化レジストの塗布膜厚依存性を検討し、シリル化領域の制御性を向上させるためには、シリル化レジストの薄膜化 ($0.07\mu\text{m}$) が有効なことを示した。また、ArFエキシマ露光下で、この薄膜シリル化レジストを上層レジストとして用いる2層シリル化プロセスにおけるリソグラフィ特性を定量的に調べ、波長以下の $0.07\mu\text{m}$ ラインパターン、 $0.05\mu\text{m}$ ホールパターン

が形成できることを明らかにした。シリル化レジストが薄い場合、シリル化反応が水平方向に著しく進行してシリル化領域のプロファイルが改善されること、被シリル化領域の広さによってシリル化後のシリル化パターン寸法が大きく変化することを明らかにした。さらに、ラインエッジラフネスは2層シリル化プロセスの適用、ドライ現像条件とレジスト組成の最適化、及び、光学コントラストの改善によって低減できることを明らかにした。

第4章では実用化に近い多層レジストプロセスとして、湿式現像を併用する2層レジストプロセス（Si含有2層レジストプロセス、及び、湿式現像後にシリル化する2層シリル化プロセス）について述べた。さらに、多層レジストプロセス実用化の観点から下層レジスト材料の平坦化特性、及び、多層レジストの剥離法についても述べた。ArFエキシマ露光を用いたSi含有2層レジストプロセス、及び、湿式現像後にシリル化する2層シリル化プロセスのリソグラフィ特性を明らかにした。これらのプロセスによって、ArFエキシマ露光で $0.10\mu\text{m}$ 近傍の極微細パターン形成が可能となり、今後の F_2 エキシマ露光プロセスとしても有望なことを明らかにした。O-クレゾールボラック（o-CN）樹脂が下層レジスト材料として有用であること、そのo-CN樹脂塗布後の表面残留段差は下地段差の幅や高さによって大きく変わること、さらに、段差の平坦化特性はo-CN樹脂の熱流動特性と熱架橋特性によって決まり、下層レジストを2段階の温度で熱処理する2段階熱処理法で段差の平坦化が可能となることを明らかにした。ドライ現像後の多層レジストは、 CF/O_2 系ガスプラズマによるアッシング処理、あるいは、ヒドロキシアミン系剥離液処理後、仕上げ酸洗浄することで良好に剥離除去できることを明らかにした。一方、下地基板エッチング後のレジストは、酸素プラズマによるアッシング処理後にふっ化アンモニウム系剥離液で洗浄することで良好に除去されることを明らかにした。

第5章では、各章で得られた結論を要約することにより本研究を総括し、結論とした。

以上、要するに、著者は、化学増幅型レジストを用いた極微細レジストパターンを形成するため、単層レジストプロセスにおける下地基板依存性とその制御法と多層レジストプロセスのリソグラフィ特性を明らかにし、半導体分野での微細加工技術を確立すると共に、その実用化に対して明確な指針を与え、ナノプロセス工学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。