

論文審査の結果の要旨

氏名 中村 裕子

半導体リソグラフィにおいては、微細パターンを広マージンで形成することが求められている。リソグラフィーの微細化は主として露光波長の短波長化と露光装置の高開口数化により達成されてきた。しかし、これだけではデバイスパターンの微細化に追従できないことから、さまざまな工程で微細化に対応した技術が開発されている。本論文では、位相シフトマスク修正方法の開発、寸法均一性向上を目的とした KrF レジストにおける現像メカニズムの解明、分解能増強法 (RET) による微細コンタクトホール (C/H) パターン形成方法の開発を行い、微細化に対応したメカニズムの解明と技術の開発についてまとめたものである。本論文は6章よりなる。

第1章は、本論文のイントロダクションであり目的と背景を述べている。

第2章は、本論文で使用した実験装置および手法について述べている。

第3章は、集束イオンビーム (FIB) によるフォトマスク修復について述べている。露光光がフォトマスクを通過するか否かによりパターンを形成する従来のバイナリマスクに代わって、最近では、露光光の位相情報を利用してより微細なパターンを形成する位相シフトマスク (RET 技術の1つ) が用いられる。FIB は高分解能を有しており、位相シフトマスク修正ツールとして期待されていたが、加工領域を設定するためのイメージングや欠陥の除去により Ga イオンが打ち込まれてしまい、透過率が低下してしまう問題があった。画像処理によるドーズ量減少、XeF₂ ガスを使った FIB アシストエッチング、FIB アシストデポジションにより堆積したカーボン膜の使用等により、透過率低下なく欠陥除去が行えることを見出し、フォトマスク修復法を開発した。

第4章では、寸法均一性向上を目的に、KrF レジストの現像工程において、寸法を決定する主要因が何であるかを明らかにしている。要因の一つは現像中の現像液のアルカリ濃度変化であり、露光工程で酸発生剤から酸が発生し、これが触媒となって、ポストエクスポージャー (PEB) 工程でレジストの保護基がはずれ、レジスト樹脂の主鎖に結合したフェノールやカルボン酸が発生し、パターン密度が変わり、同じパターンであっても寸法が変わってしまう。他の

要因は、露光領域において、現像中レジストと現像液の境界部分での半溶解層形成であって、半溶解層が寸法に影響を与えていることをスピノフ現像法で実証した。これらの知見に基づき、現在の実行程で、現像装置の改良、パターン被覆率の補正、レジスト材料選定評価項目化といった対策がとられるようになり寸法均一性が向上していることは本論文提出者の貢献が大である。

第5章では、直行する2種類のラインアンドスペース (L&S) パターンを積層し、両者ともにスペースとなる部分をC/Hのホールとする新しい2重L&Sパターン形成法 (DLFM)に関する研究成果をまとめている。DLFMは他のC/Hパターン形成方法と比較すると、広いプロセスウィンドウを有することがシミュレーションにより示された。そして実験により、 k_1 ファクター0.3以下のC/Hパターンを広いプロセスウィンドウで形成できることを示した。さらに、コストを低減する目的で、二重極照明を使って2枚のL&Sパターンを有するマスクを使用する代わりに、1枚のC/Hパターンを有するマスクを使うことを検討した。その結果、L&SマスクとC/Hマスクではほぼプロセスウィンドウは一致し、2枚のL&Sマスクの代わりに1枚のC/Hマスクを使ってDLFMが行えることが分かった。これらの結果は、極紫外光リソグラフィーや高屈折率液浸リソグラフィーが立ち上がるまでの露光装置のない時期を、ArFドライ露光装置または水による液浸露光装置とDLFMでしのげる可能性を示すものである。

第6章は、本論文全体の結論を述べている。

以上、本論文提出者は、集束イオンビーム (FIB) によるフォトマスク修復法、KrFレジストの現像工程における寸法均一性向上要因、2重L&Sパターン形成法(DLFM)を解析、開発した。これらの成果は物理化学に貢献するところ大である。なお、本論文の研究は、本論文提出者が主体となって考え実験を行い解析したもので、本論文提出者の寄与が極めて大きいと判断する。

従って、博士(理学)の学位を授与できると認める。