

審査の結果の要旨

氏名 雨宮 光陽

依然として微細化を続ける半導体LSIの次世代、次々世代のパターン形成技術として、EUV（極端紫外、Extreme Ultraviolet）リソグラフィの導入に向けた技術開発が活発に行われている。このような情勢のもと、本論文は、「微小異物の高精度計数評価技術とEUVマスクハンドリングへの応用」と題して、EUV用マスクの無塵化ハンドリングの実現に向けて、マスクに付着する微小異物の計数評価法を新たに提案し、実際のEUVマスクキャリア、マスクハンドリングシステム開発のためのマスク搬送実験の評価に適用して、提案した計数評価法の有効性を実証したものである。

第1章では、LSI製造において必須とされるリソグラフィ工程の無塵化として、EUVリソグラフィ工程における無塵化技術の特徴を明らかにしている。第一の特徴は、EUV波長の領域では通常の光リソグラフィ用のフォトマスクで用いられるペリクルが使えないので、EUVマスクは保護膜なしに周囲環境にさらされていることである。第二の特徴は、EUVリソグラフィ技術はパターン幅20nmから10nmという極微細パターン領域に適用されるため、検査対象とする異物も極微小サイズの領域となることである。これらの条件からEUVマスクハンドリングにおいては、単面積当たり1/100個レベルの極めて小さい空間密度の微小異物付着を高精度に計数評価することが重要課題となってくるのが明らかである。

第2章では、EUVリソグラフィ用マスクハンドリングを対象として、空間的に極めて少数の付着異物の高精度な計数評価法を新たに提案している。まず、異物検査におけるEUVマスク上の微小異物の計数過程を、マスク面上の位置情報と異物の付着・離脱プロセスをパラメータにしてモデル化し、確率論と誤差論をベースとして付着パーティクルの検出誤差（計数精度）の定量的な評価手法を導出している。加えて、検査回数と計数精度の関係に着目し、十分な計数精度の確保のためには4回程度の複数検査が適切であることを示すことにより、複数回検査法が高精度検査に有効であることを提言している。

第3章では、提案する微小異物計数法をEUVマスクキャリアの開発における防塵性能評価に適用し、その計数評価法の有効性を検証している。具体的には、新たに考案した二重ポッド型マスクキャリア（アウターとインナーから構成するEUVマスクキャリア）を用いるマスク搬送プロセスにおける異物付着を、光リソグラフィ用レチクル搬送ポッドの場合と比較しながら付着異物検出実験を行っている。搬送実験におけるマスクへのパーティクルカウントについて新考案の微小異物計数評価法を適用することにより、二重ポッド型によりサイクル当たり千分の数個レベルの防塵性能を実現できることを実証している。

第4章では、提案する微小異物計数法をEUVリソグラフィで使われる静電チャック吸着における異物付着評価に適用している。EUVリソグラフィはEUV光の低い物質透過性能から真空中露光が必要なため、EUVマスクの保持には静電チャックが用いられるが、防塵の面では異物の静電吸着という難点がある。本研究では、マスクの搬送・吸着中のマスク基板電位と異物付着の関係を実験的に調べ、新提案の異物計数法を用いて異物付着状態を評価した。その結果、二重ポッドの利用とマスク基板を接地電位に保つシステムにより、高い防塵性能を実現できることを検証している。

第5章では、本論文全体の成果を総括している。本研究では、EUVマスクハンドリングにおける異物の付着とその検出・計数過程をモデル化し、マスク基板への付着数 $\ll 1$ というパーティクル検査を評価できる高精度な異物付着計数評価法を確立した。そして、この計数評価法をマスクキャリアの防塵技術の開発における防塵性能評価に適用して、二重ポッド型マスクキャリアがEUVマスクハンドリングに適用可能な性能を有することを明らかにした。

以上のとおり本論文は、半導体リソグラフィ工程におけるマスクへの付着異物の高精度計数評価法を提案し、次々世代EUVリソグラフィ用ペリクルレスEUVマスクの無塵化ハンドリング技術の開発に大きく貢献したことから、博士論文として合格と判定される。

よって本論文は、博士（工学）の学位請求論文として合格と認められる。