

審査の結果の要旨

氏名 室岡 賢一

本論文は「高精度 X 線リソグラフィーのためのマスク歪補償技術の研究」と題し、薄いメンブレンのマスクを通して X 線によって微細パターンを焼き付ける X 線リソグラフィー技術において最大の問題となっているマスク歪を、局部的な光照射によるマスクの熱変形を利用して補償し、10nm 寸法のパターン転写を可能とした技術の研究を述べたもので、9 章から成っている。

第 1 章は序論であって、大規模集積回路の製作を主目的とする微細パターン形成技術において有用と期待される X 線リソグラフィー技術の概要を述べ、また本論文の構成を説明している。

第 2 章は「本研究が解決を目的とする課題と意義」と題し、X 線リソグラフィーの技術要素の中でメンブレン・マスクの歪による露光パターンの歪が最大の問題であることを述べ、従来その解決のために試みられて来た方法を紹介してその限界を論じている。

第 3 章は「X 線マスクの基板応力からパターン歪を求める手法」と題して、マスク歪の評価とその補償技術の解析的基盤として、微視的な弾性体理論から出発して巨視的な歪を積分変数とする歪エネルギーの表式を導き、変分原理に基づいて歪エネルギーの最小化を行い、与えられた応力分布から発生する歪を計算する手法を確立している。またその過程で、面内歪は大きな減衰距離を有する長距離相互作用に支配されるが、面外歪は特徴的な長さを含む短距離相互作用に支配されることを明らかにしている。

第 4 章は「X 線マスクのパターン歪から原因の応力を求める手法」と題し、汎関数最小化の手法を用いることにより、測定された面内歪から、この歪を引き起こした応力分布を算出する手法を導出して、幾つかの具体例に適用して、面内歪を引き起こしている応力分布を十分な精度で 1 秒以内に算出できることを実証している。

第 5 章は「熱入力により X 線マスクのパターン歪補正を行う際の熱拡散の効果と補正」と題して、応力分布を補正する熱入力分布を求めるために、まず熱拡散のマスク基板変形への寄与を計算して、熱拡散の実効的な距離が応力の空間分布の最小波長より小さければ熱拡散の補正は不要であることを明らかにし、さらに熱拡散の影響が大きい場合においても、熱伝導方程式に基づく解析計算により、熱入力分布を求める際に熱拡散の影響を補正することが、リアルタイムで可能であることを示している。

第 6 章は「X 線マスクの倍率補正」と題して、これまでの各章で得られた知見を活用し、等角写像の計算により定められた領域の応力を調整することによって、マスクの倍率補正をも行うことが可能であることを示している。また本手法を応用して、熱膨張による歪の全く発生しないマスク構成が可能であることを示している。

第7章は「X線マスク歪補償技術の実験による検証」と題して、本論文が提案している方法の実現性を検証するために、ホログラフィック位相シフト干渉計によってマスク歪を測定しながらレーザー光の局部照射によって熱入力を与えた実験の結果を述べ、32mWの光加熱で70nm以上にわたる歪量を補正できることを示している。また熱入力と歪の関係の実測結果は本論文の解析手法による計算と10nm以内の精度で一致しており、高精度の面内歪補正がリアルタイムで行えることが実証されている。

第8章は「アダプティブ・メンブレン・マスク技術の適用範囲」と題し、本論文の補正法の空間分布限界を検討して最適なシステム設計の指針を考察し、厚さ1 μ mのシリコン窒化膜メンブレンの場合、汎用のVGA以上の画素数による総熱入力100Wの光パターン照射で、マスク歪を1nm以下にまで補償できることを示している。

第9章は結論であって、以上の研究の結果を総括し、本研究の意義と今後の展望を述べている。

以上これを要するに本論文は、今後の大規模集積回路の製作などにおいて10nmオーダーの微細パターンを焼き付けるX線リソグラフィ技術に関し、マスク・メンブレンの歪の補正を、光の局部照射による加熱で実時間に行う手法を提案し、その実現可能性を実験によって示したものであって、電子工学の発展に寄与する所が少なくない。

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。