OUKA
Osaka University Knowledge Archive

Title	X線露光中におけるX線マスク基板の動的熱歪み現象に関する研究
Author(s)	千葉, 明
Citation	大阪大学, 1994, 博士論文
Version Type	VoR
URL	https://doi.org/10.11501/3075205
rights	
Note	

Osaka University Knowledge Archive : OUKA

https://ir.library.osaka-u.ac.jp/

Osaka University

【109】

氏名	千葉 明（ちば あきら）
博士の専攻分野の名称	博士（工学）
学位記番号	第 11094 号
学位授与年月日	平成 6 年 2 月 18 日
学位授与の要件	学位規則第 4 条第 2 項該当
学位論文名	X 線露光中における X 線マスク基板の動的熱歪み現象に関する研究
論文審査委員	（主査）教授 蒲生 健次 （副査）教授 小林 猛　教授 奥山 雅則

論文内容の要旨

本論文は，X 線リソグラフィにおいて露光中に生じる X 線マスク基板の動的な熱歪み挙動を詳細に解析するために，動的熱歪みシミュレーションを開発し，適用し，理論的な側面から検討した研究内容とその成果を以下の 6 章にまとめたものである。第 1 章では，本研究の背景及び意義について述べてある。第 2 章においては，動的熱歪みシミュレーションの理論的な裏付けを明かにした。次に，動的熱歪みシミュレーションをパルス X 線露光に適用し，X 線マスク基板で生じる熱歪みの伝播を明かにした。第 3 章では，瞬間速度に比例する散逸性の減衰力を動的熱歪みシミュレーションに導入し，熱歪み振動の解析を可能にした。従来，パルス X 線露光では X 線マスク基板の熱歪み振動があまり重要な意味をもたないと考えられていたが，この方法により，マスク基板の固有振動数と減衰係数によって三種類の熱歪み振動を招いていることを明らかにしている。第 4 章では，第 3 章で完成した散逸性の減衰力を含んだ動的熱歪みシミュレーションを SR 光源による走査 X 線露光に適用し，走査露光周波数やギャップが露光中のマスク基板の熱歪みに及ぼす影響について明かにした。第 5 章においては，第 4 章の走査 X 線露光において連続走査露光と間欠走査露光の非定常な熱歪み挙動について詳しく研究し，低歪み露光法の理論的根拠を示した。第 6 章は，動的熱歪みシミュレーションの精度を向上させる目的で第4章で取り上げた SR 光源の露光系の詳しい温度測定を試みた。従来，転写されるウェハはヒートシンクであると考えられていたが，実験の結果，ウェハも X 線マスク基板と同様に X 線の露光中に温度変化を招いていることを明かにしている。第 7 章は結論であり，本研究から得られた成果の結論を総括し，今後の課題についても述べている。

論文審査の結果の要旨

本論文は，X 線照射による X 線マスクの熱歪を，従来は準静的に取り扱っていたのに対して，動的に解析し，将来の ULSI（超大規模集積回路）デバイスのための露光技術として期待されている，X 線露光法の描画精度を検討し

た結果をまとめたものである。

パルスX線照射によってX線露光マスクの温度が上昇し，これによってマスクに熱歪み生じ，露光精度を低下させる。本論文では，昇温の結果平面応力が生じるとして，熱伝導方程式とハミルトンの原理とを組み合わせて，動的熱歪のシミュレーションを行っている。これらの結果を用いて，まず，レーザー励起プラズマX線源などのパルスX線を用いる場合に適用し，種々の照射条件と歪みの関係を明らかにした。これから，例えば，熱歪はマスク基板周辺の固定端から基板の中心に向かって伝播するが，慣性のため，膜に歪みが生じるのに時間遅れがあり，この伝播特性を利用するとパルス露光中に基板が歪まず，高精度露光ができる露光条件が存在することを示している。さらに，動的な熱歪みにともなうマスクの振動で内部摩擦による抵抗も考慮してシミュレーションプログラムを作りマスクの振動形態を解析している。

また，この動的シミュレーションを用いて，実用的な露光法として期待されているシンクロトロン放射X線を用いる露光法に適用し，実際の露光を想定して，冷却用Heガスおよびレジストとウェハへの熱伝導も考慮したシミュレーションを行い，冷却用Heガス圧，マスク試料間隔，X線の走査速度などの露光条件と露光精度を解析している。ただし，まず，ウェハはヒートシンクとして取扱い，照射による温度上昇はないとしている。この結果，例えば，実際に使われようとしているマスク試料間隔が10μm程度では，マスク，試料間でほぼ同じ温度となり，マスク試料間隔に関係なく露光歪みはX線の走査速度に依存し，低速では最大30nm程度の歪みが現われることなどを示している。ついで，ウェハの温度上昇も考慮した計算を行い，さらに，シンクロトロン放射X線照射にともなうウェハの温度上昇を実際に測定し，実測値とシミュレーション結果とはよく一致することを示している。また，実測の温度上昇は0.3℃でこれから実際のマスクの歪は1.5nmとなり，1Gbit程度の製作には問題ない精度が期待できることを示している。

以上，本論文は，X線露光中のマスクの歪みを動的に解析し，種々の露光条件と歪みの関係を明らかにしたもので，今後高精度X線露光法を開発する上で重要な成果を得ており，半導体工学の進歩に貢献するところ大であり，博士（工学）論文として価値あるものと認める。