

研究課題別事後評価結果

1. 研究課題名：位相差極端紫外光顕微鏡による機能性材料表面観察・計測技術

2. 研究代表者名及び主たる研究参加者名(研究機関名・職名は研究参加期間終了時点)

研究代表者

木下 博雄 (兵庫県立大学高度産業科学技術研究所 教授)

3. 研究内容及び成果

本研究は、2011年までに次世代リソグラフィ技術である極端紫外線露光法を実用化するために、実マスク(吸収体パターンを有する最終マスク)上の欠陥ならびにマスクブランク(6025 ガラス基板上に多層膜を形成した基板)の位相欠陥を3次元像として高精度に検出可能な位相差極端紫外光(EUV)顕微鏡システムを構築し、位相差極端紫外線リソグラフィ(EUVL)用マスクの無欠陥化の道筋を明らかにすることを目的としている。共同研究グループはない。

(1) 位相差極端紫外光顕微鏡システムの開発

照明光学系、顕微光学系、Mirau 干渉計、フォーカスセンサー、6 インチ角用試料ステージ、像観察用のズーム管とからなる EUV 顕微鏡システムを設計製作した。顕微光学系にはシュバルツシルト光学系を採用し、波長 13.5nm、拡大倍率 30 倍、開口数 0.3 とした。このため、計算上は 30 μm 角の検査領域で 20nm の欠陥検出が可能となる。また、EUV 領域での Mirau 型の位相差干渉計を開発し、位相欠陥の 3 次元像形成を実現する。この方式では使用する波長の $1/500$ の縦方向の分解能が得られるため、およそ 0.03nm の段差の 3 次元像を形成できる。X 線領域での干渉計測は今までに例がなく、この開発により新しい X 線応用が展開できる。

EUV 顕微鏡の実現に不可欠な部品の一つがビームスプリッタである。ビームスプリッタは EUV 光を透過・反射させるため、Mo/Si の多層のわずか 100nm の自立膜で、しかも 15~20mm の面積が必要であり、作製プロセス中などに膜が破壊される。非常に苦労をしたが、作製条件を最適化することにより、反射率:21.1%、透過率:26.2% を有するビームスプリッタの製作に成功した。高解像度用ビームスプリッタをシュバルツシルト光学系の上流部分に挿入し、照明系の NA の拡大を試みた。この結果、折り返しミラーの場合には横方向の NA が 0.15 で 300nm のラインを分解できなかったが、ビームスプリッタを挿入したことで縦、横の NA が向上し、300nm のエルボパターンの解像を確認した。このように、EUV 領域で世界で初めてビームスプリッタの挿入による顕微光学系を実現した。

(2) EUVブランクスマスク評価

ガラス基板上に作成した高さ 1.5-10nm、幅 40 から 110nm、長さ 500 μm の擬似位相欠陥を観察した。この結果、幅 100nm、深さ 2.5nm の位相欠陥の観察は可能であったが、幅 75nm、深さ 1.5nm の位相欠陥は観察できなかった。このように極端紫外域での顕微鏡によりマスクの位相欠陥の検出が可能となり、高さ 1.5 nm から 2 nm の凹欠陥がガラス基板の凹欠陥の Critical Dimension であることが分かった。この結果は SEMATECH が実施した位相欠陥を有するマスクの転写特性(露光による Printable な領域、シミュレーションでの Non Printable な領域)結果と良く一致し、本装置の有効性を確認した。この装置により欠陥の低減化と位相欠陥の実露光パターンへの影響を調べることが可能となる。

(3)位相欠陥を有する実マスク評価

実マスクでの位相欠陥の影響を明らかにするために、予め位相欠陥をもつ多層膜基板上に吸収体パターンを

形成したマスクを作成し、評価を進めた。この結果、位相欠陥の吸収体パタンに及ぼす影響を初めて、定性的にも定量的にも明らかにした。吸収体パタン直下に位相欠陥が存在する場合は、ほとんど影響の無いこと、位相欠陥が吸収体パタンに引っかけられる場合には、その度合いにもよるが、影響の大きいこと、および、位相欠陥が吸収体パタンの中間にある場合には、その間の多層膜への影響が大きく、出力信号はほぼゼロとなることを明らかにした。

位相欠陥と吸収体パタンとの幾何学的な係わり合いを定量的に評価した結果、Selete が同じマスクを用いた露光転写結果 (Berkeley MET-2) とよく一致し、本装置が吸収体パタンの評価においても露光機並みの性能を示していることを証明した。

4. 事後評価結果

4 - 1. 外部発表(論文、口頭発表等)、特許、研究を通じての新たな知見の取得等の研究成果の状況

原著論文		招待講演		通常講演		ホスター発表		その他		特許出願	
国際	国内	国際	国内	国際	国内	国際	国内	国際	国内	国際	国内
15	0	5	4	24	29	3	8	2	3	0	2

EUVL用多層膜マスクの位相欠陥をEUV光で40nmの解像度で短時間で検査可能とし、米国や国内の他機関における評価結果と比較する事で結果の確かさを検証した。すなわち、SEMATECHおよびSeleteが、Berkeleyの露光機でマスク評価のための露光をウェハ上に行った欠陥評価結果および位相欠陥と吸収体パタンとの幾何学的な定量化と一致することを確認したことは、露光機を使わなくても本装置でマスクの評価が可能であることを実証しており、大きな成果である。さらに、SEMATECHがFZP(フレネルゾーンプレート)を使用した観察装置による測定結果との比較を行っており(2008年2月に発表予定)、Seleteが本装置を使用してマスク評価を実施する予定であることなど、本技術が大きく広がりつつあることを示している。また、段差が1.5nm(1.5nm以下の段差の試料がないため、1.5nm以下は未確認)の位相欠陥の3次元像を形成することに成功した。

テーマにおける難しい技術の一つにビームスプリッターとなるハーフミラー形成があったが、粘り強い努力により20mmサイズの大口径ビームスプリッターを実現し、明視野方式EUV顕微鏡で位相欠陥を可視化したことが特に評価される。

共同研究グループがなく、担当した研究員数は少ないが、論文、学会発表および特許出願件数ともに必ずしも十分とは言えない。しかし、研究テーマの範囲が限定されているので、やむを得ない点もある。また、新規性の高い技術的成果を得ており、事業化もさほど遠くないテーマであるので、今後の特許出願に期待する。

4 - 2. 成果の戦略目標・科学技術への貢献

世界で行われているいくつかのEUVによる多層膜マスクの位相欠陥検出技術の性能比較では最高性能を達成した。学術的には、理論的には可能とされていながらも実現できなかった方式を実験的に検証したこと、技術的には、次世代露光技術であるEUVLの実現に重要な多層膜マスクの位相欠陥検査の基礎技術を確認し、マスク評価技術に新たな革新をもたらす技術として期待され、国際的に重要な貢献をした。

4 - 3. その他の特記事項(受賞歴など)

・シュバルツシュルト光学系やX線ズーミング管に関しては、高い技術力を持ったメーカーの協力を得、マスクメーカーからのマスクやマスク基板のサンプルの供給を受け、また、参照ミラー駆動精度達成には機械駆動技術に優れた川勝チームの協力を得た。このように様々な外部技術力を巧みに活用したことは評価に値する。

・本来の目的であるマスク検査だけでなく、本研究を基礎として、ナノからピコメートル領域に進展するX線光学の分野の研究やX線顕微鏡としての一般的な応用に発展して行くことを期待したい。

・受賞

MNC Young Author Award など2件