

「高度情報処理・通信の実現に向けたナノファクトリーとプロセス観測」

平成 14 年度採択研究代表者

木下 博雄

(兵庫県立大学高度産業科学技術研究所 教授)

「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」

1. 研究実施の概要

本研究は、2009 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、その課題の一つであるマスク基板の無欠陥化を狙いとする。このため、多層膜が形成されたガラス基板上の欠陥を露光光と同一の EUV 光で直接観察し、さらにミラウ型の位相差干渉顕微鏡の構築により、サブナノメートル (0.03 nm) の微細な表面界面の 3 次元像の形成を実現させる。

これまでに高精度観察性能をもつ極端紫外光顕微鏡を立ち上げ、EUVL 用マスク上の吸収体パターン (以下実マスク) の観察、ならびにガラス基板上に設けた凹凸パターンに多層膜を形成したマスクブランクス上の欠陥 (以下位相欠陥) の観察に成功した。実マスクの検出分解能は 50 nm 程、位相欠陥は高さ 3nm、幅 90nm まで確認できた。今後、本装置を用いたマスク評価により無欠陥化を加速させることが出来る。また、これまで、位相欠陥の検査は表面の散乱光 (暗視野像) の検出として考えられていたが、本装置での観察は明視野像であり、Bragg の法則からずれた部分を検出している。この成果は EUV マスクの欠陥の検査法に大きな影響を持つと言える。今後、さらに、Mirau 干渉計を実現し、ピコメータの 3 次元像検出を進め、定性・定量評価基準を確立する。

2. 研究実施内容

① 研究の目的

2009 年には 32 nm の線幅を持つ LSI の試作が極端紫外線リソグラフィ (EUVL) により開始される。1997 年から日米で本格化した研究開発により露光装置開発の問題点が明らかにされ、課題となっていたレーザプラズマ光源も Sn をターゲットとすることにより出力に見通しが得られた。残る課題は、マスク基板の欠陥のゼロ化とレジストのラインエッジラフネスの低減である。とくに 32 nm 世代のレチクル上の最小欠陥サイズは 25 nm とされており、さらに EUVL 特有の位相欠陥の検査を必要とする。位相欠陥は DUV 光を用いた散乱光での検出が不可能なため、早急に検査法の確立が重要となる。本研究では実マスク上の欠陥ならびにマスクブランクス上の位相欠陥を 3 次元像として高精度に検出可能なシステ

ムの構築を進め、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する。

② 研究方法

図 1 に本研究で開発を進めている装置概略図を示す。系は照明光学系、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、像観察用のズーミング管とからなる。

顕微鏡光学系にはシュバルツシュ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、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。

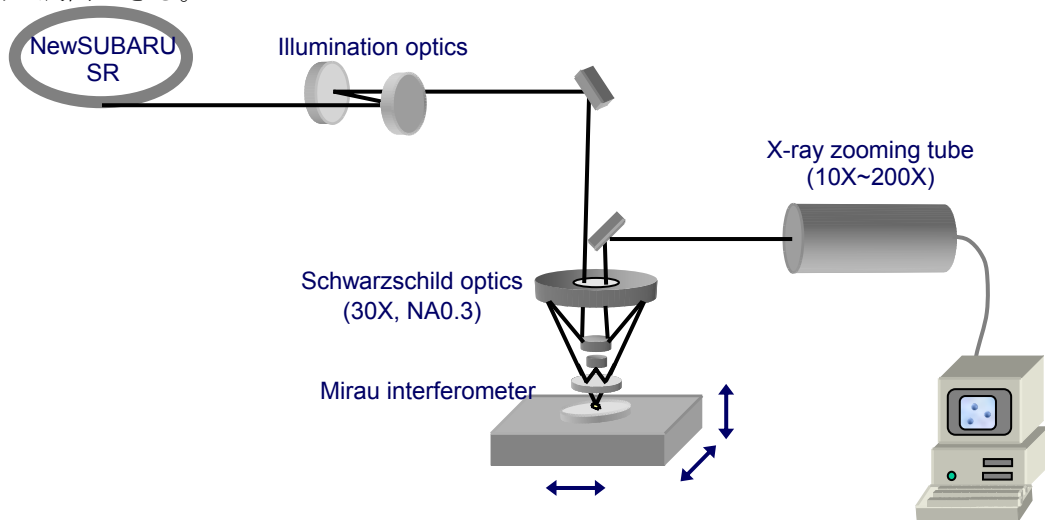


図 1 位相差極端紫外光顕微鏡の構成概要

③ H18 年度研究成果

1) EUV 顕微鏡によるマスク評価

図 2 は 100 nm の線幅をもつデバイス用マスク（吸収体には TaBN）の EUV 顕微鏡観察像を示す。ズーミング管の観察倍率は 60 倍が適当であり、200 倍にすると暗電流が増え、ノイズが重畳する。また、20 倍では分解できていない。図 2 のパタンプロファイルから現状での吸収体パタンおよび多層膜表面での欠陥の検出分解能は 40 nm 程と評価できる。

また、図 3 にガラス基板上に作成した高さ 1.5-5 nm、幅 90 nm、100 nm、110 nm、長さ 500 μm の擬似位相欠陥の観察結果を示す。図 3 で幅 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欠陥の検出が可能となり、高さ 1.5 nm から 2 nm の Pit 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。今後、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が調べられる。

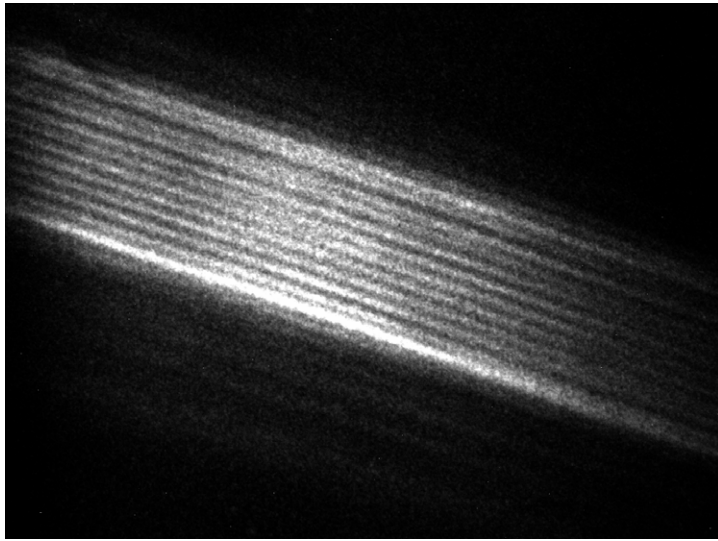


図2 100nmL&Sの吸収体パターン観察

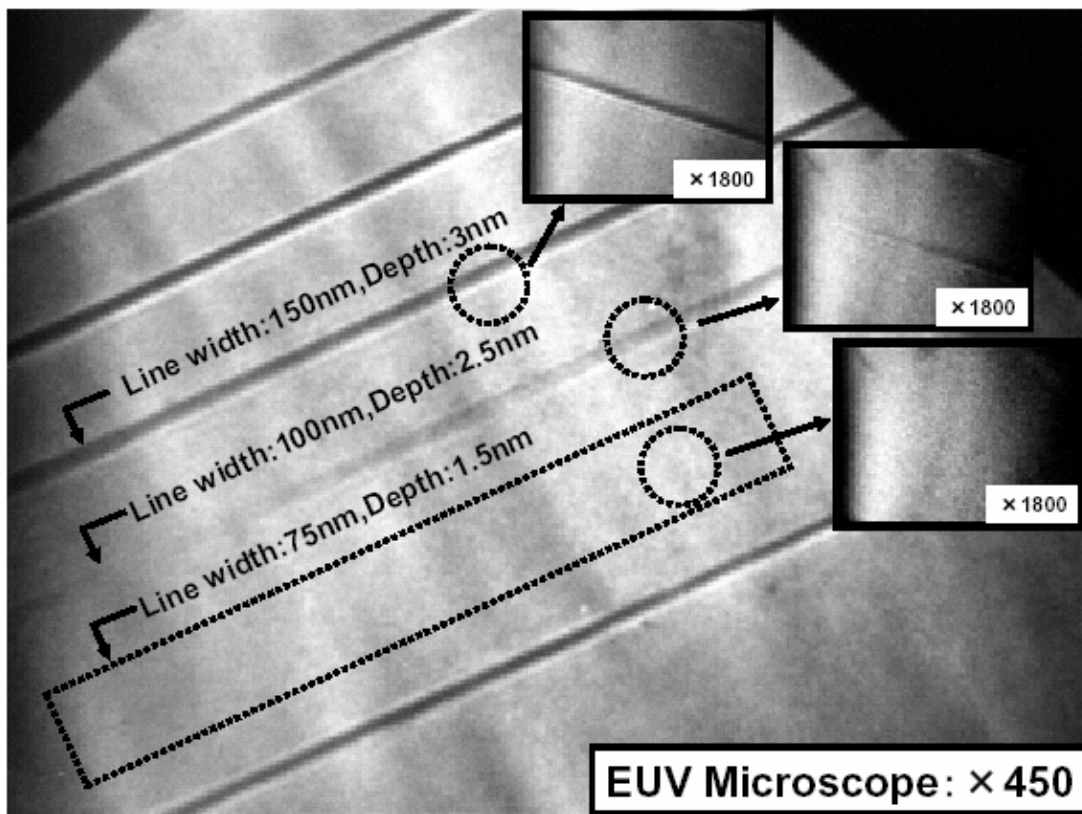


図3 ガラス基板上に形成した Pit 型の欠陥上に多層膜を形成したマスクの観察像

2) 干渉計測用ビームスプリッタの完成

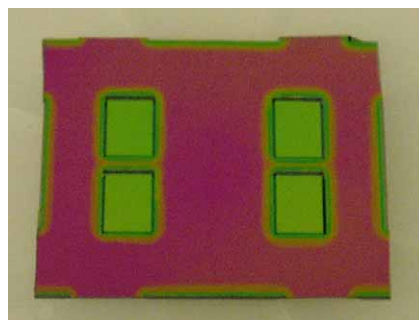
ビームスプリッタの製作は H16 年度から進めてきたが、中間層に形成した SiC 膜と多層膜の応力バランスが悪く、また、最終工程の SiC のドライエッチング時に膜が破れるなど完成品の製作に至らなかった。H17 年度からは中間層に低応力の SiN 膜を用いて、実験を進めた。

ここでの課題は、①弱引っ張り応力となる多層膜の形成、②最終工程での SiN のドライエッチングである。

- ① 多層膜の成膜には ULVAC 製のマグネトロンスパッタ装置 (MPS-4000) を用いて検討を進めた。はじめに、Ar ガス圧による応力変化を Mo, Si 単層膜で進めたところ、Mo は Ar ガス圧が 0.7 Pa 以下では膜応力が圧縮となり、0.7 Pa 以上では弱引っ張り応力に変化した。また Si はガス圧を上げるほど圧縮応力が小さくなった。次に RF (Mo)、DC (Si) Power 変化による応力変化を求めた。この結果 Mo は 300 W の時に引っ張り応力が最大 (15MPa) になったのに対し、Si は 150 W の時に圧縮応力が最小 (150 MPa) となった。このことから、両者の引っ張り応力と圧縮応力を相殺させる条件の探索を進め、Mo の RF パワー 300 W、Ar ガス圧 0.7 Pa、Si の DC パワー 150 W、Ar ガス圧 0.9 Pa の時に多層膜の応力が弱引っ張りの 10 MPa を得ることに成功した。通常多層膜形成では Ar ガス圧を個々に変えることはせず、一定としているが、ここでは、個々の膜を形成する度にガス圧を変化させるという方法を考案して弱引っ張り条件を見出している。
- ② SiN のエッチングには ANELVA 製の RF エッチング装置 (DEM451) を用いて行った。これまで高速エッチング装置を用いていたため、Ion 衝撃によるエッチングが支配的で、Si の開口部端でプラズマが集中し、SiN 膜を一様に加工することが出来なかった。そこで、CF₄ ガスによる化学的なエッチングが主となる装置に改め、また、多層膜へのダメージがない冷却性能を向上させたエッチングサイクルを決定した。



(a) Si 形成時の Ar 圧 0.7 Pa



(b) Si 形成時の Ar 圧 0.9 Pa

図 4 ビームスプリッタ概観図 (a)は 10 Pa の圧縮応力, (b)は 10 Pa の引っ張り応力

上記の二つの成果により、反射率：21.1%、透過率：26.2%を有するビームスプリッタの成膜に成功した。次年度 EUV 顕微鏡に搭載し、世界初の EUV 領域での 3 次元像形成を進める。

3. 研究実施体制

(1) 木下研究グループ

①研究者名

木下 博雄 (兵庫県立大学高度産業科学技術研究所 教授)

②研究項目

- ・高精度な観察用極端紫外光顕微鏡の製作
- ・大口径ビームスプリッタの製作
- ・位相差干渉系の開発
- ・像検出系の高精度化
- ・コンタミネーション防止技術
- ・擬似欠陥マスクによる評価
- ・実基板および最終マスク評価による欠陥発生の定性・定量的な評価

4. 研究成果の発表等

(1) 論文発表(原著論文)

- K. Hamamoto, Y. Tanaka, T. Yoshizumi, N. Hosokawa, N. Sakaya, M. Hosoya, T. Shoki, T. Watanabe and H. Kinoshita, "Phase Defect Observation Using Extreme Ultraviolet Microscope," *Jpn. J. Appl. Phys.* **45, 6B**, 5378-5382, 2006
- Y. Tanaka, T. Watanabe, K. Hamamoto and H. Kinoshita, "Development of Nanometer Resolution Focus Detector in Vacuum for Extreme Ultraviolet Microscope," *Jpn. J. Appl. Phys.* **45, 9A**, 7163-7166, 2006
- Hiroo Kinoshita, "Status of Extreme Ultraviolet Lithography," *J. Biomed. Nanotechnol.* Vol.2, No.2(2006) 99-102
- H. Kinoshita, K. Hamamoto, Y. Tanaka, N. Sakaya, M. Hosoya, T. Shoki, D. Lee and T. Watanabe, "Actinic Mask Inspection using EUV Microscope," *Synchrotron Radiation Instrumentation, 9th International Conference (2007)* 1478-1481
- H. Kinoshita, K. Hamamoto, N. Sakaya, M. Hosoya, T. Shoki, Y. Mizuta, T. Yoshizumi, K. Tanaka and Y. Watanabe, "Observation of the internal defects of multilayer film," *Microelectric Engineering* 84(2007) 1015

(2) 特許出願

平成 18 年度特許出願: 0 件 (CREST 研究期間累積件数: 2 件)