

「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。

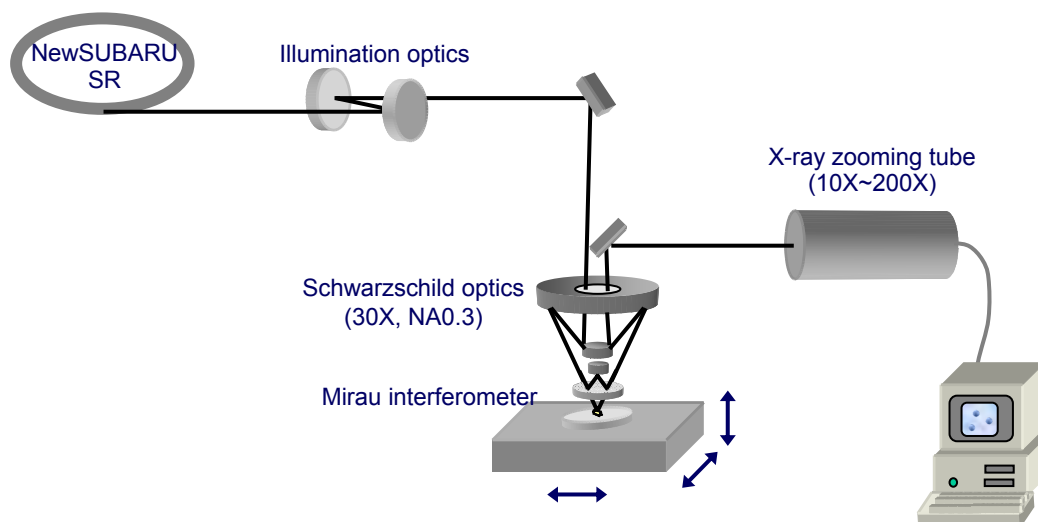


図 1 位相差極端紫外光顕微鏡の構成概要

③ H17 年度研究成果

図 2 に開発中の装置の概観写真を示す。H17 年度はこの顕微光学系を用いて主に位相欠陥をもつマスク評価を進めた。

位相欠陥は主にガラス基板上の研磨痕ならびに多層膜スパッタ中にチャンバ壁から離散したパーティクル上に多層膜が形成された場合に生じる欠陥である。共同研究者の HOYA グ

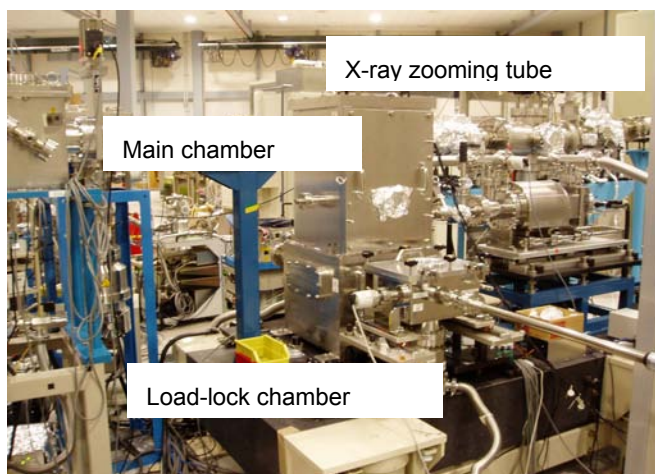


図 2 位相差極端紫外光顕微鏡の外観写真

ループはこの欠陥の評価用として、予め深さ、幅、長さの異なる各種パターンをガラス基板上に形成し、その上に多層膜を形成した擬似欠陥マスクを製作した。図3にその一例として、高さ5 nm、幅90 nmの場合の断面TEM像を示す。この例の場合には最上層への影響が確認され、暗視野検出が有効であるが、擬似欠陥の高さやサイズによっては最上層への影響が消えてしまう場合がある。この際の位相欠陥が転写像に影響するか否かを明らかにすることが重要である。

図4に本装置での位相欠陥観察結果例を示す。図の上部から幅90 nm、100 nm、110 nm、高さ5 nm、長さ400 μm の擬似欠陥に対応し、それぞれ鮮明に観察できている。本装置では多層膜に入射した光がBraggの法則に則って多重反射し、再度光学系で集光され、光学系の集光点に置かれたゾーミング管の光電変換面に結像する。この時、位相欠陥部分では光の反射方向あるいは、位相が異なるため、多重反射が起こらず、反射強度の低下を生じる。すなわち、位相欠陥部ではブラッグの法則が崩れ、多層膜としての反射強度が得られない。本装置はこの多層膜の反射強度分布により欠陥部を観察している。

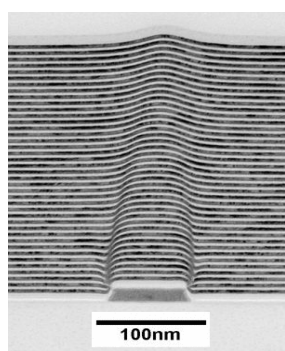


図3 擬似欠陥マスクの断面写真

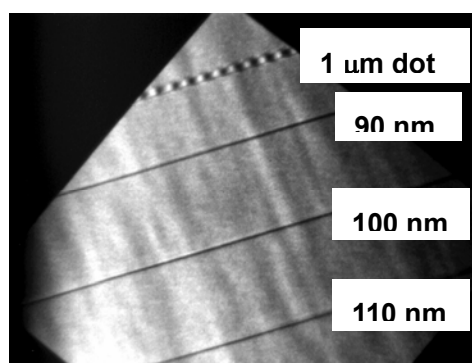


図4 位相欠陥観察結果

このように、本研究ではEUV顕微鏡を用いて擬似欠陥の観察を進め、初めて多層膜内部の位相欠陥像の観察に成功した。これらの結果は、EUV顕微鏡では表面の形状に依存することなく、内部の反射率分布を捕らえることが可能なことを示している。この成果は今後のEUVL実用化に向けて前進する画期的な成果といえる。

3. 研究実施体制

(1) 木下研究グループ

①研究分担グループ長：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定性・定量的な評価

4. 主な研究成果の発表（論文発表および特許出願）

（1） 論文（原著論文）発表

- K. Hamamoto, Y. Tanaka, H. Kawashima, S. Y. Lee, N. Hosokawa, N. Sakaya, M. Hosoya, T. Shoki, T. Watanabe and H. Kinoshita
“Actinic Mask Inspection Using an EUV Microscope
-Preparation of a Mirau Interferometer for Phase-Defect Inspection-“
Jpn. J. Appl. Phys. **44** (2005) 5474-5478.
- N. Hosokawa, T. Watanabe, N. Sakaya, T. Shoki, K. Hamamoto and H. Kinoshita
“Development of Beam Splitter Using Multilayer Membrane for Extreme Ultraviolet
Phase-Shift Microscopes”
Jpn. J. Appl. Phys. **44** (2005) 5540-5543.
- Y. Tanaka, K. Hamamoto, H. Tsubakino, T. Watanabe and H. Kinoshita
“Reducing off Hydrocarbon Contaminants for EUVL”
Jpn. J. Appl. Phys. **44** (2005) 5547-5551.
- H. Kinoshita
“History of Extreme Ultraviolet Lithography”
J. Vac. Sci. Technol **23** 6B (2005)
- K. Hamamoto, Y. Tanaka, S. Y. Lee, N. Hosokawa, N. Sakaya, M. Hosoya, T. Shoki, T. Watanabe and H. Kinoshita
“Mask defect inspection using an extreme ultraviolet microscope”
J. Vac. Sci. Technol. **23**, 6B (2005) 2852-2855.

（2） 特許出願

H17 年度出願件数：2 件（CREST 研究期間累積件数：2 件）