

「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 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、次世代リソグラフィ技術である極端紫外線露光法を2009年までに実用化するために、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(0.03nm)の微細な表面界面の3次元像の形成を実現させる。

H16年度は主に1)高精度観察顕微鏡の製作、2)多層膜の製膜技術ならびにビームスプリッタの製作技術、3)NA0.3に対応可能なFocus検出技術、の検討を進めた。1)については高精度に研磨された基板にd-gradedな膜形成を進め、さらにはレーザ干渉計による光学系のアライメントを終え、波面収差6nmの精度まで追い込むことができた。2)については昨年度末に導入したスパッタ装置により、Mo/Si多層膜の反射率64%を達成した。また、薄膜化のためのバックエッチ装置を試作し、一連の製作工程を確立し、昨年12月にはビームスプリッタ化に成功した。この成果は共同研究先の日東光器がSEMICONに出品し、反響を得た。しかし、平坦性が7mm角の範囲で2.3nmと目標値を達成しておらず、更なる応力の低減化と大面積化のための条件を詰める。3)については、これまでに静電容量センサー等の検討を進めていたが、安定に測定できるまでに8時間を要し、さらに、センサーと被検物間が500 $\mu$ mと狭いために、空間的な自由度が不足し、搭載を諦めた。代わって、レーザを用いた斜入射検出器を検討した。2分割タイプのフォトダオードを検出器とする方式により20nmの検出分解能を達成できた。これらの機構に改良したX線ズーミング管を繋ぎ、パターン検出を進め、良好なパターン検査が可能となった。次年度はMirau光学系を組み込み、干渉計測を進める。

## 2. 研究実施内容

### 2.1 研究の背景ならびに目的

2009年には32nm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は解決され、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32nm世代のレチクル上の最小欠陥サイズは25nm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。位相欠陥は可視光を用いた散乱光では検出が不可能なため、早急に検査法の確立が重要となる。

## 2.2 研究の方法

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、顕微鏡光学系、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 $\mu$ m角の検査領域で20nmの欠陥検出が可能である。また、位相欠陥検出のため、Mirau型の位相差干渉計を開発する。この方式では原理的に使用する波長の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次元像を形成することができる。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。

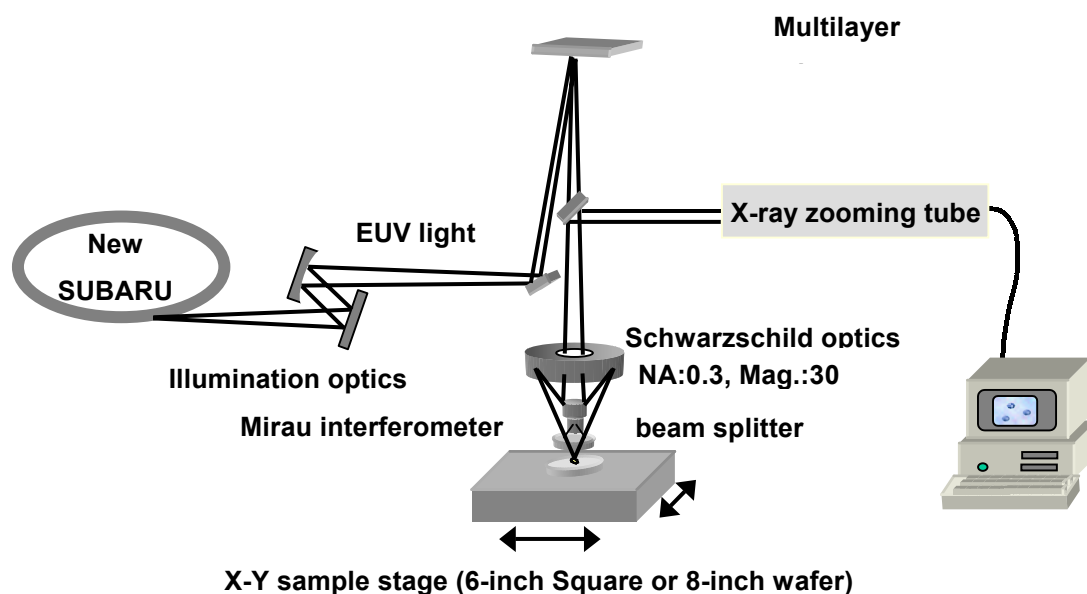


図1 位相差極端紫外光顕微鏡の構成概要

## 2.3 結果および考察

顕微鏡光学系はH16年度初めに、NA0.3、倍率30倍を構成可能なミラーを入手した。その後、レーザ干渉計を用いて光学系のアライメント（ミラーを鏡筒に入れ、波面収差が最小になるように調整する。）を進め、波面収差6nmまでの合わせ精度を得た。しかしながら、波面収差6nmは回折限界性能30nmを得るには不十分である。原因は多層膜形成時の応力制御が不十分なため、周辺での干渉縞が大きくなっていた。また、リファレンスミラーの球面精度の影響などもあり、引き続き、回折限界性能が達成可能なアライメント法の検討を進める。

ビームスプリッタの製作では、H16年度に薄膜形成装置、ならびにビームスプリッタ化技術を確立した。現状の問題点は、ビームスプリッタ開口部縁での応力集中により、

平坦領域(2nm)が開口部の70%ほどに狭くなることである。この一因に膜厚分布、膜応力の影響が予測され、更なる検討を進める。

位相差干渉機構ではH15年度に試作した駆動機構（Mestek 1次品）の評価を進めた。手持ちの測定器（静電容量センサー）で1nmまでは測定できているが、目標とする位置分解能0.07nmを評価するため、東大川勝研究室の協力を得て、ファイバーカプラー方式で評価した。この結果、図2に示すように0.1nmの変位を確認できた。これにより、参照ミラーの $\lambda/8$ の駆動が可能である。

フォーカス検出技術は、1で述べたように当初静電容量センサを用いて検討を進めたが、空間的な制約が大きいこと、安定性に問題があることから搭載を諦め、新たにレーザ斜入射検出法の検討を進めた。チャンバの外に置かれた半導体レーザの光をファイバーにより真空チャンバ内に導入し、サンプル面を8度の入射角で照射し、反射光を検出する方式である。当初は斜入射角を浅くし（3度）、リニアアレイ型の検出器を水平に置き、フォーカス変動量を20倍に拡大する系を検討したが、集光レンズ径の制約で斜入射角が小さく取れず、検出器を2分割型に変更した。2分割型はそれぞれの検出出力の差と和の比を取ることで、無次元化でき、レーザの強度変動やスポットサイズの変動を無視できるため、高精度な測定が可能であった。図3に20nmのフォーカス変動に対するセンサーの出力を示す。目標性能を満足する性能が得られた。

上記述べたようにH16年度で、個々の要素技術の確立が果たせたことから、次年度から実マスクでのパタン観察ならびに位相差干渉計測により位相欠陥の3次元像形成を進める。

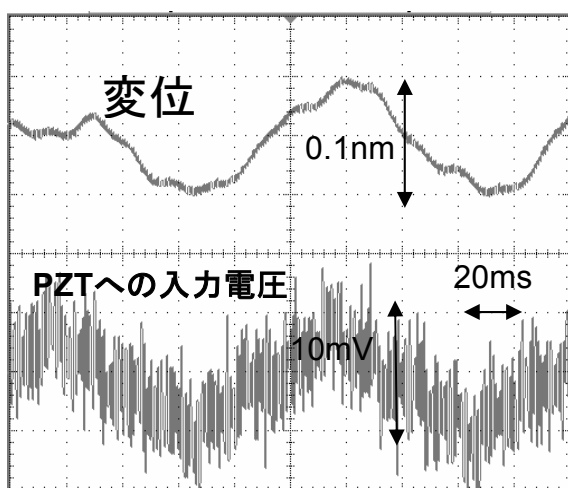


図2 試作したPZT干渉機構の駆動特性

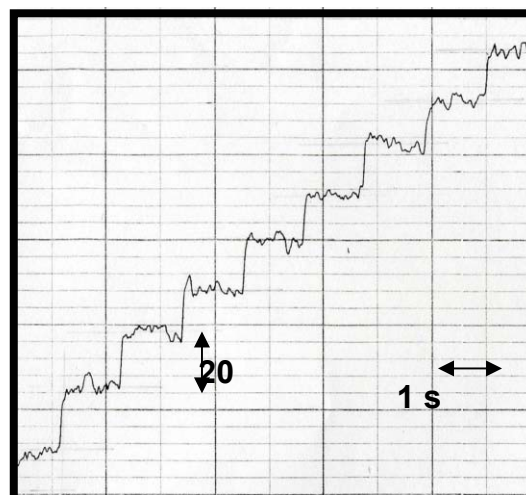


図3 フォーカスセンサーの追従特性

### 3. 研究実施体制

#### 木下グループ

- ① 研究分担グループ長：木下 博雄（姫路工業大学高度産業科学技術研究所、教授）
- ② 研究項目：位相差極端紫外光顕微鏡の全体設計・特性評価

#### 格内グループ

- ① 研究分担グループ長：格内 敏（姫路工業大学大学院工学研究科、助教授）
- ② 研究項目：位相差極端紫外光顕微鏡 干渉制御系の設計製作・評価

#### 笑喜グループ

- ① 研究分担グループ長：笑喜 勉（HOYA(株)エレクトロニクス開発センター、グループリーダー）
- ② 研究項目：EUVLマスクの製作と位相差型極端紫外光顕微鏡の評価

### 4. 主な研究成果の発表

#### (1) 論文発表

- T. Watanabe, H. Kinoshita, K. Hamamoto, H. Hada and H. Komano  
“Mitigation of Low Outgassing and Small Line Edge Roughness for EUVL Resist”  
J. Photopolym. Sci. Technol., **Vol. 17-3**, 361-366 (2004)
- K. Hamamoto, Y. Tanaka, T. Watanabe, N. Sakaya, M. Hosoya, T. Shoki, H. Sugahara, N. Hishinuma, H. Hada and H. Kinoshita  
“Outgassing Characteristics of Structural Materials and the Removal of Contaminants from EUVL Masks using 172-nm Radiation”  
J. Photopolym. Sci. Technol., **Vol. 17-3**, 367-372 (2004)
- T. Watanabe, K. Hamamoto, H. Kinoshita, H. hada and H. Komano  
“Resist Outgassing Characteristics in EUVL”  
Jpn. J. Appl. Phys., **43, 6B** 3713-3717 (2004).
- K. Hamamoto, Y. Tanaka, T. Watanabe, N. Sakaya, M. Hosoya, T. Shoki, H. Hada, N. Hishinuma, H. Sugahara and H. Kinoshita  
“Cleaning of extreme ultraviolet lithography optics and masks using 13.5 nm and 172 nm radiation”  
J. Vac. Sci. Technol. **B23 (1)**, 247-251 (2005)