

「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

半導体の製造技術、とくにリソグラフィ技術に関しては、これまで様々な方式の可能性が示されてきたが、ここに来て、技術面、コスト面からかなり整理されてきた。すなわち、90nm世代から65nm世代はArFを光源とする装置を用い、45nmではArF液浸装置が用いられる。その先の32nm世代から極端紫外リソグラフィ (EUVL) を投入することが確定的となった。2006年1/4期にASML社がEUVL装置をIntelやIMECに導入することから、それまでにマスク欠陥のゼロ化のシナリオを作らねばならない。DUV光によるマスク検査装置も検討されているが、解像度も80nmほどと32nm世代の仕様を満足されず、さらに検査結果と実際の露光光による評価の相関が取れていない。

本研究では実際の露光光である極端紫外域で適用可能な顕微鏡を構築し、マスク上30nmの欠陥を600から6000倍に拡大観察を行うとともに、多層膜特有の位相欠陥を極端紫外域での位相シフト干渉法により検査することを狙いとしている。これまでに、NTTの厚木研究所にてEUV顕微鏡によりマスク評価を進め、250nmの線幅を持つパタンの観察を進めた。また、照明光ならびに、マスクの吸収帯材料の違いによる解像度の影響等について興味ある結果を得ている。しかしながら、NTTの装置はNAが0.13であるため、目標解像度30nm欠陥には適用できない。そこで、2003年度に30nmの解像度を可能とするNA0.3、30倍の球面光学系を製作した。2004年度から光学系の合わせを進め、放射光施設ニュースバルに設置し、マスク評価を進める。一方、位相シフト干渉計では極端紫外域でのビームスプリッタの製作がキーとなる。2003年度多層膜形成装置、バックエッチ装置等必要な機器整備を終え、基本性能確認を終えた。2004年度からSiN膜上に多層膜を形成し、フリースタANDINGで20mm角の開口をもつビームスプリッタを製作する。これらを統合し、2004年度後半から位相シフト干渉を用いた3次元X線像の形成を進める。

2. 研究実施内容

2.1 背景および目的

2009年には35nmの最小線幅をもつLSIデバイスの製作が極端紫外線リソグラフィ (EUVL) を用いて始められる。これまでの研究開発から光学系、マスク製作、レジスト等

については、ほぼ見通しが得られているが、光源、マスク欠陥のゼロ化にはまだ多くの技術的課題を残している。とくに35nm世代のレチクルマスクの最小欠陥サイズは25nmとされており、また多層膜特有の問題として、ガラス基板に残る凹凸に多層膜を形成した際に生じる位相欠陥の検出法が明らかでない。このため、本研究では6インチ角ガラスマスク基板上の多層膜欠陥を高速、かつ高分解能に検査可能なシステムの構築を図る。

2.2 方法

図1に本研究での開発する装置概略図を示す。図2に装置概観図を示す。系は照明光学系、顕微鏡光学系、Mirau干渉計、6インチ角用ステージ、像観察用のズーミング管とからなる。顕微鏡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、50 μ m角の領域で10nmの微小な欠陥分解能をもつ。また、位相欠陥検出のため、Mirau型の位相干渉計を開発する。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、50ミクロン角の領域で横分解能10nm、縦分解能0.027nmの3次元像が形成することができる。現在、光学系の製作を進めているが、並行して既存の20倍の対物をもつシステムを構築し、予備実験を進めた。

2.3 結果および考察

図3に250nm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。縮小率1/5の露光機で50nmの線幅に相当する。観察領域内には欠陥は見られなかった。また、この系を用いて、TaBNを吸収体とするマスクとCrを吸収体とするマスクでの解像度比較を進めた。Crマスクに比べ、TaBNマスクでの解像度が高い。これは吸収体表面の粗さがCrが大きく、EUV光の散乱の影響であると考えている。また、放射光のホワイト光と分光器からの13.5nm光での解像度特性の比較も試みた。ホワイト光の場合でも、多層膜鏡7回の反射を経て、ズーミング管上に結像するが、長波長成分を完全には除去できず、13.5nmの分光光に比べて像の劣化が見られた。また、マスク欠陥も観察された。これはいずれも吸収体膜形成時の欠陥であり、製作プロセス上の問題点を明らかにできた。

一方、NA0.3、30倍の光学系は、材料をZerodur Mとし、形状精度0.5nm、粗さ精度0.3nmとほぼ現状の加工限界性能のものを入手できた。球面へのMo/Si多層膜もd-Gradedな膜形成とし、反射効率の高い光学系とすることができた。2004年度からこの光学系を用いたシステムの構築を進める。

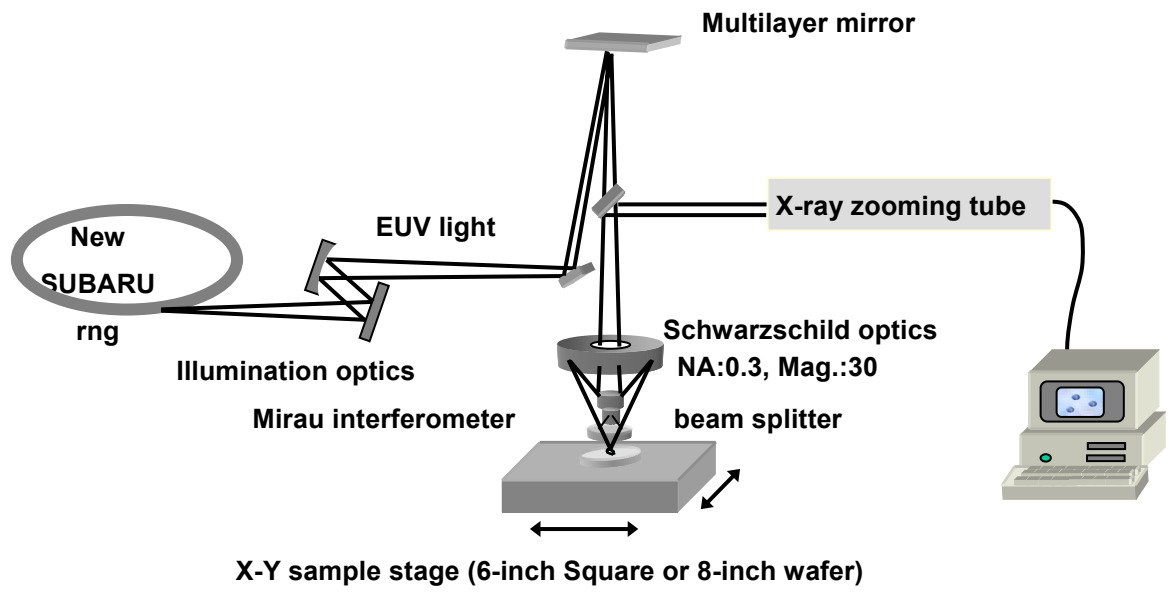


図1 位相差極端紫外光顕微鏡の構成図

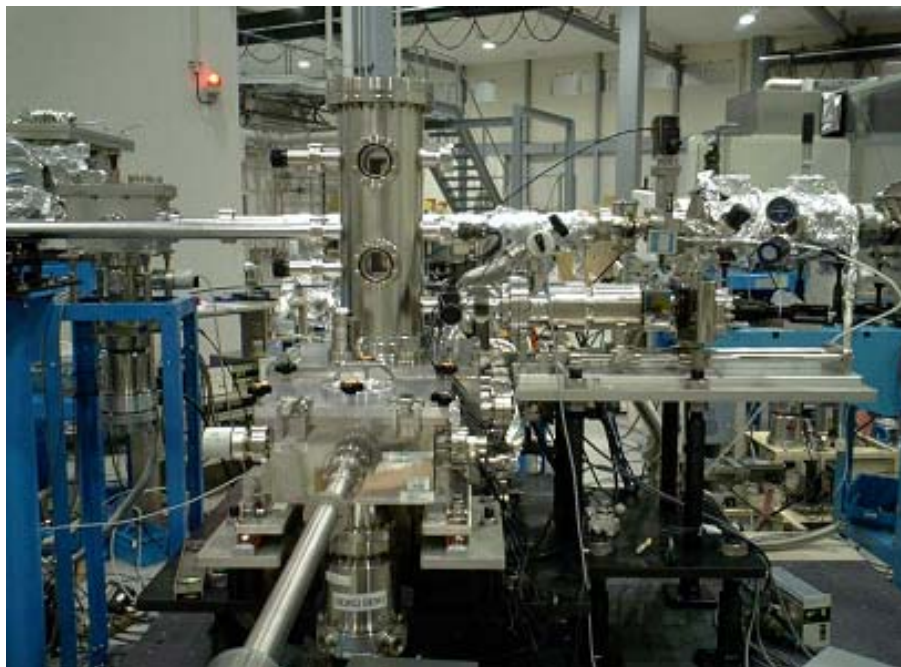


図2 位相差極端紫外光顕微鏡の概観図

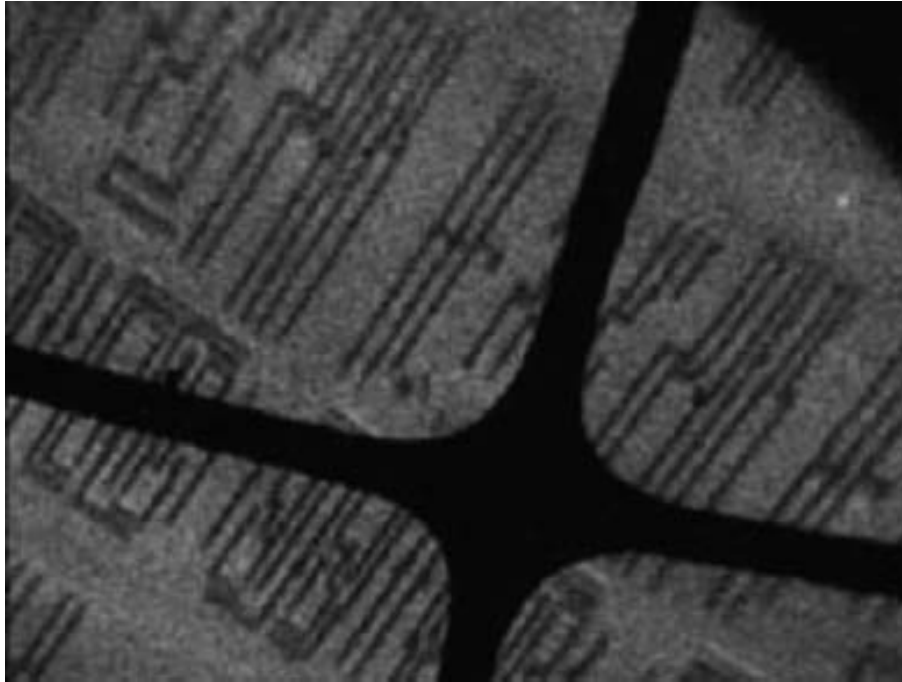


図3 デバイス用マスク観察例 線幅250nm

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（論文発表および特許出願）

(1) 論文発表

- T. Haga, H. Kinoshita, K. Hamamoto, S. Takada, N. Kazui, S. Kakunai, H. Tsubakino and T. Watanabe
“Evaluation of Finished EUVL Masks using a EUV Microscope”
JJAP, 2003
- H. Kinoshita, T. Haga, K. Hamamoto, S. Takada, N. Kazui, S. Kakunai, H. Tsubakino,

T. Shoki, M. Endo and T. Watanabe

“Actinic mask metrology for EUV lithography”

J. Vac. Sci. Technol. B22(1), Jan/Feb2004

- K. Hamamoto, S. Takada, T. Watanabe, N. Sakaya, T. Shoki, M. Hosoya and H. Kinoshita

“Investigation of Contamination Removal from Finished EUVL Mask”

J. Photo Polymer, 2003

- T. Watanabe, T. Haga, T. Shoki, K. Hamamoto, S. Takada, N. Kazui, S. Kakunai, H. Tsubakino, H. Kinoshita

“Pattern Inspection of EUV Mask Using a EUV Microscope”

SPIE Vol. 5130

(2) 特許出願

H15年度特許出願件数：0件（CREST研究期間累積件数：0件）