

## 4 ニコンビームライン (BL18)

### 1. はじめに

九州シンクロトロン光研究センター (SAGA-LS) BL18は、2009年4月にビームライン運用を開始した。本ビームラインでは真空紫外からX線領域の光学素子の性能評価を行っている。中でも EUV 露光装置 (EUV/Extreme Ultraviolet 光,  $\lambda=13.5\text{nm}$ ) の光学系 (ミラー) 特性及び EUV 光の光学素子への影響評価実験は、EUV 露光装置開発が実験機から量産用露光機へと進んでいる状況では重要なテーマとなっている。

EUV 露光光学系としては従来のような透過光学系は使用できないため、EUV 光を反射する多層膜(Mo/Si 多層膜)を用いた反射光学系が採用されている。また EUV 光は大気によって吸収されるため EUV 光学系は真空容器中に配置される。EUV 露光装置は露光波長が短波長であるため、高解像度が期待できることが最大のメリットである一方、光子エネルギーが高いため、EUV 光と装置内残留ガスとの相互作用によるミラー表面へのカーボン付着・ミラー表面の酸化などミラー反射率を低下させる深刻な問題 (装置スループットの低下) がある。BL18 でのミラー評価データは問題解決に不可欠なデータとなっている。

### 2. BL18構成

BL18の配置図及びEUV照射装置を図1、図2に示す。シンクロトロンからのSR光は、2枚のトロイダルミラー (図1、M1・M2) により平行光となり、M3ミラー (図2) にて照射試料上に集光される。

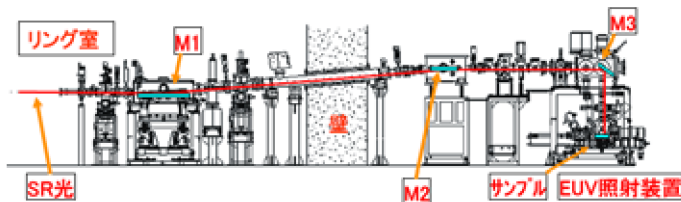


図1 BL18配置図。

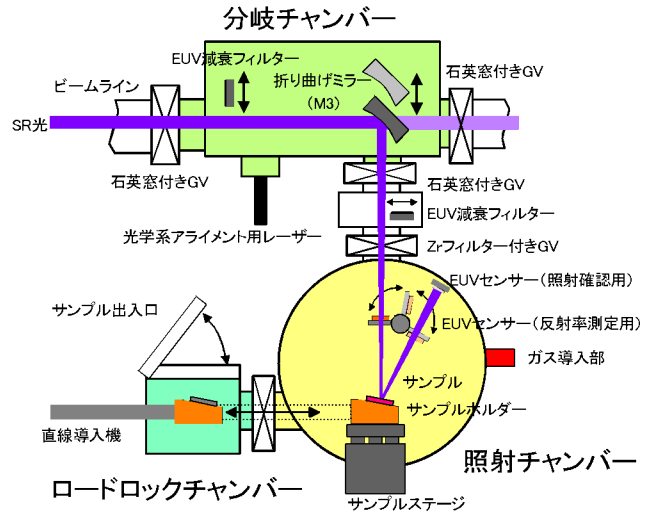


図2 EUV照射装置。

### 3. 実験結果

#### 3-1 カーボンコンタミ評価実験

真空中に配置した光学系の表面では、真空雰囲気中に残留している微量の有機物が吸着と脱離を繰り返しているが、この表面に  $92\text{eV}$  ( $\lambda=13.5\text{nm}$ ) のエネルギーを持つ EUV 光が入射することにより有機物内の結合が切断され、カーボンコンタミとなって表面に固着する。このカーボンコンタミは EUV 光学系の透過率を低下させてしまうため、長期間安定した露光を行うためには大きな問題である。ニコンは EUV 露光装置 EUV1 を開発したが、実際の露光実験において光学系表面にカーボンコンタミが付着していることが確認された。

カーボンコンタミの付着速度は EUV 光の照度、雰囲気中の有機物分圧、有機物の種類に依存するため、我々は EUV 露光装置内に存在する物質を導入した照射チェンバ内で EUV 光の照射実験を行い、

カーボンコンタミモデリングのためのデータを取得した。これにより、EUV1 光学系の各基板上へのカーボンコンタミ付着速度を予想できるようになっ

た。

我々は酸素を導入した雰囲気中で EUV 光を照射した場合のカーボン除去速度の評価も実施し、露光装置内の雰囲気最適化を行い、安定した露光が可能な条件を明らかにした<sup>1, 2)</sup>。

### 3-2 光学系酸化

ミラーの耐酸化性を向上させるためにミラー多層膜上に保護層 (capping 層、約 2nm) が付けられているが、保護層によりミラーの耐酸化性に差が出てくる。保護層の選定が重要となる。代表的な例として、図 3 に水蒸気雰囲気中での Ru 保護層付き多層膜ミラーの EUV 照射による反射率変化を示す。保護層 Ru が酸化され、反射率が低下している。耐酸化性があるとして酸化物保護層が評価された (保護層 1.7nm 厚: SiO<sub>2</sub>、TiO<sub>2</sub>、V<sub>2</sub>O<sub>5</sub>、Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub>、Mn<sub>2</sub>O<sub>3</sub>、Y<sub>2</sub>O<sub>3</sub>、Nb<sub>2</sub>O<sub>5</sub>、RuO<sub>2</sub>、Rh<sub>2</sub>O<sub>3</sub>、PdO、SnO<sub>2</sub>、La<sub>2</sub>O<sub>3</sub>、CeO<sub>2</sub>、WO<sub>3</sub>)。各サンプルを真空中 (水蒸気圧 1x10<sup>-4</sup>Pa ~ 9x10<sup>-4</sup>Pa) に置き、EUV 光照射(150-1600J/mm<sup>2</sup>) によるミラー反射率変化 (酸化の影響) を評価した (評価/EUV 光照射は SAGA-LS BL18 の他 NTT Super ALIS、New SUBARU BL9 にて行われた)。

サンプル中では TiO<sub>2</sub>、V<sub>2</sub>O<sub>5</sub>、Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub>、Nb<sub>2</sub>O<sub>5</sub>、CeO<sub>2</sub> 保護層ミラーは反射率低下が小さく、下層の Si 層の酸化も抑制されていた。これら酸化膜の金属イオンはほぼ同じイオン半径を持ち、緻密な構造に成っていると考えられる。保護層膜の局所構造解析を実施、例えば RuO<sub>2</sub> 層はアモルファス状態で八面体 6 配位の密な構造を持つ。アモルファスのため第二近接以降の秩序が失われ、第一近接の Ru-O 距離は短くなることになった<sup>3)</sup>。

保護層膜の耐酸化性は成膜プロセスも影響するため、膜種のみでなく、成膜プロセスも考慮した総合的な評価が必要となると考えている。

### まとめ

BL-18 にて EUV 光学素子の評価を行っている。評価結果を基に EUV 露光機開発にフィードバックすると共に、新しい光学系開発の基礎データ収集を行う予定である。

本報告で用いている実験データは NEDO 資産を利用して得られたものである。

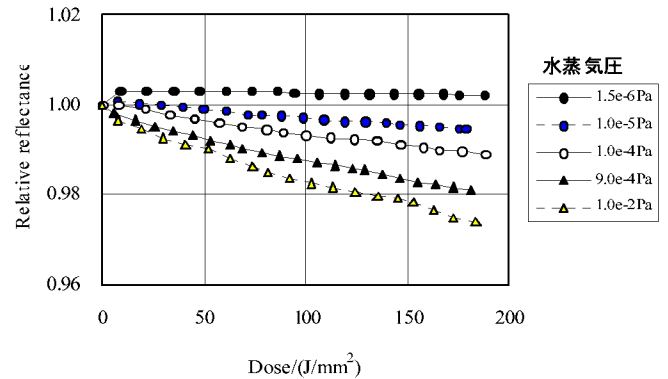


図3. 水蒸気中でのEUV照射による Ru保護層多層膜ミラーの反射率変化。 EUV照射強度70mW/mm<sup>2</sup>。

### 参考文献

- [1] K. Murakami, T. Yamaguchi, A. Yamazaki, N. Kandaka, M. Shiraishi, S. Mastunari, T. Aoki, S. Kawata, "Contamination study on EUV exposure tools using SAGA Light Source", Proc. SPIE 7636, 76361U (2010).
- [2] M. Shiraishi, T. Yamaguchi, A. Yamazaki, N. Kandaka, T. Oshino, K. Murakami, "A simple modeling of carbon contamination on EUV exposure tools based on contamination experiments with synchrotron source", Proc. SPIE 7969, 79690N-1 (2011).
- [3] S. Matsunari, Y. Kakutani, T. Aoki, S. Kawata, K. Murakami, "Durability of capped multilayer mirrors for highvolume manufacturing extreme ultraviolet lithography tool", Proc. SPIE 7271, 72713R (2009).

(株)ニコン 神高典明、河田真太郎