

# *In situ* 軟 X 線吸収分光法を用いた極紫外線用多層膜ミラーのコンタミネーション防止機構の研究

新部正人<sup>1</sup>, 古井田啓吾<sup>1</sup>, 角谷幸信<sup>1,2</sup>, 松成秀一<sup>2</sup>,  
青木貴史<sup>2</sup>, 寺島 茂<sup>2</sup>, 高瀬博光<sup>2</sup>

<sup>1</sup>兵庫県立大学高度産業科学技術研究所

〒678-1205 兵庫県赤穂郡上郡町光都 3-1-2

<sup>2</sup>研究組合 極端紫外線露光システム技術開発機構 (EUVA) 〒210-0007 神奈川県川崎市川崎区駅前本町11-1

**要 旨** 次世代の半導体パタン露光技術の候補である極紫外線リソグラフィ (EUVL) 装置では、投影光学系に用いられる多層膜ミラーの表面汚染が装置処理能力を低下させる原因となる。この表面汚染を防止する技術を開発するため、アンジュレータを光源とするコンタミネーション評価装置を開発し、研究を進めている。この装置は、種々の真空環境を制御し、高照度の極紫外線照射と *in situ* での反射率評価ができるほか、軟 X 線吸収分光法を用いた *in situ* での表面分析ができるのが特徴である。露光装置で想定される真空環境の水分に対して、さらにイソプロパノールガスを導入した照射実験を行い、多層膜ミラーの表面汚染の要因となる炭素膜の堆積と表面酸化の両方の反応を抑制するための重要な知見を得ることができた。

## 1. はじめに

次世代の半導体露光装置として、波長13.5 nm の極紫外線 (extreme ultraviolet, EUV) を用いたリソグラフィ技術 (EUVL) が注目され、その技術開発が活発である<sup>1)</sup>。この露光装置は EUV 光を用いるため、投影光学系は複数枚の Mo/Si 多層膜ミラーより成る直入射光学系で構成され、またマスクパタンの転写露光は真空環境下で行われる。このため、真空槽内に残留する水分や炭化水素のガスに EUV 光が当たり、ミラー表面に炭素膜が沈着したり、多層膜表面が酸化し、ミラーの反射率を低下させる、いわゆるコンタミネーション (表面汚染) が生じ、装置の処理能力を低下させることが問題となる<sup>2-4)</sup>。投影光学系のミラーは非常に精密な非球面加工や多層膜コートが必要であり、また精密なアライメントも必要のため<sup>5)</sup>、製造に時間とコストがかかり、簡単には交換できない。このことからミラーの反射率低下に対する要求仕様は大変きびしく、例えば米国 VNL (Virtual National Laboratory) の試算によれば、数年間の使用に対して1枚あたり1.6%以下が要求されている<sup>6)</sup>。

多層膜ミラーのコンタミネーションの形態としては、放射光を利用する読者には良く知られている炭素様膜のミラー表面への堆積 (沈着) のほかに、多層膜の表面酸化がある。Mo/Si 多層膜は通常、酸化の少ない Si 層を最上層となるように作製するが<sup>7)</sup>、水や酸素が残留する真空雰囲気下で EUV 照射されると、Si 層が酸化することが知られ

ている。この酸化を防ぐために、最上層に酸化防止を目的としたキャッピングレイヤを堆積することが考案され、各種の材料が検討されてきた<sup>8,9)</sup>。現在もっとも有望なキャッピングレイヤのひとつとして、金属ルテニウム Ru が挙げられ、これを表面に 2 nm 程度堆積した多層膜を Ru-cap Mo/Si 多層膜と呼ぶ。また、何も堆積していない最上層が Si の多層膜を Si-cap 多層膜と呼ぶことがある。現状では Ru-cap 多層膜を用いても酸化は完全には防ぐことができず、露光機環境で使われた場合、ミラーの寿命は3か月程度と見積もられた<sup>6)</sup>。

コンタミネーション防止機構の研究には、まず加速試験ができる高照度の EUV 光源が必要であり、また EUV 領域の反射率を測定できる精密反射率計が必要である。さらにコンタミネーションによるミラー表面の状態変化を知るためには、各種の表面分析手段が必要である。特に、その場観察 (*in situ*) のできる分析手段は、コンタミネーション現象を理解するための重要な情報を与えてくれる。以上より、我々は兵庫県立大学の放射光施設ニュースバル<sup>10)</sup>に、アンジュレータを光源とし、EUV 照射と *in situ* での反射率測定ができ、かつ軟 X 線吸収分光法を用いて表面状態のその場観察ができるコンタミネーション評価装置を開発し、これを用いた多層膜ミラーの汚染防止技術を研究している。

## 2. コンタミネーション評価装置

コンタミネーション評価装置は、ニュースバルの長尺アンジュレータ (11 m) を光源とし、高分解能軟 X 線分光器を有するビームライン、BL9<sup>11)</sup> のエンドステーションのひとつとして設置された。Fig. 1 に、この装置の模式図を示す。本装置はミラーチェンバーとメインチェンバーの主に二つの真空槽から成る。両チェンバーの間には差動排気系が設置され、メインチェンバーの真空圧力を  $10^{-2}$  Pa まで高めた場合にも、ミラーチェンバーの真空度を約 5 桁低い  $10^{-7}$  Pa 台に保つことができる。ミラーチェンバーでは斜入射角  $10^\circ$  のカーボン (C) コートミラーを 2 枚用い、2 回反射後に、EUV 光をメインチェンバーに導く。Fig. 2 にアンジュレータ光を C ミラーで反射させた場合と反射させず直接通した場合のスペクトルを示す。これより、C ミラーで反射させることにより、波長 10 nm 以下のアンジュレータ高次光をカットし、13.5 nm 付近の 1 次光のみを試料に照射できることが分かる。高照度の EUV 光を照射するときは、分光器より 0 次光が射出するように設定し、C ミラーをローパスフィルタとして使って、試料に照射した。また後に述べる表面分析の際には、C ミラーを斜入射角  $4^\circ$  の 2 枚の Ni コートミラーに交換し、短波長 (高エネ

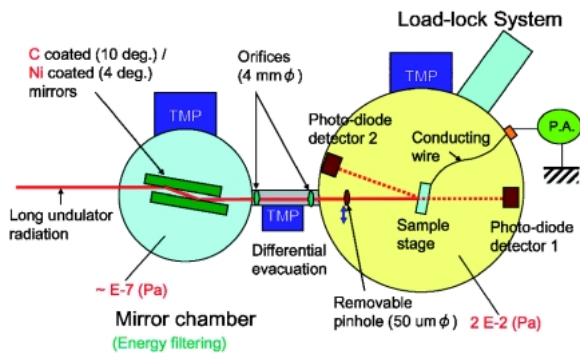


Fig. 1 Schematic diagram of the contamination evaluation system installed in the Long Undulator beamline (BL9) at the NewSUBARU SR facility.

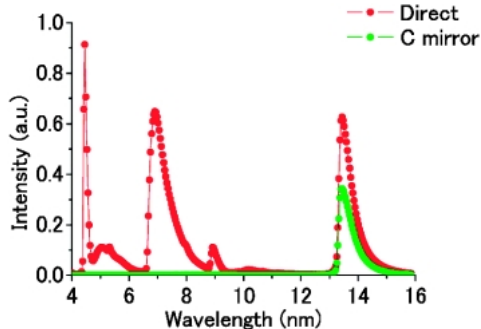


Fig. 2 Spectra of undulator radiation reflected and nonreflected by carbon-coated mirrors. The light intensity was measured by a photodiode detector placed in the main chamber.

ルギー) 側の分光光をメインチェンバーに通した<sup>12)</sup>。

メインチェンバーの中心には試料台ステージがあり、ロードロック機構を使ってチェンバーの真空を破らずに多層膜試料の交換ができる。チェンバー内には 2 個のフォトダイオード検出器 (IRD 社, Zr/Si コート SXUV) が設置され、それぞれ直射光と反射光の強度測定から、*in situ* で反射率を測定できる。試料の上流には、直径  $50 \mu\text{m}$  のピンホールを挿入してプローブ光ビーム径を小さくでき、試料ステージの移動により、照度の異なる部分の反射率変化を一回の照射で測定できる。これらの試料台、検出器およびピンホールは真空ベローを介して、真空槽の外に置かれた自動ステージにより位置制御されるため、非常に脱ガスの少ない装置となっている。これらの工夫は、照射領域の真空雰囲気を清浄にかつ一定に保つために非常に重要である。メインチェンバーは  $500 \text{ L/s}$  のターボ分子ポンプにより排気され、到達真空度は  $2 \times 10^{-7}$  Pa であった。

メインチェンバーには 2 種類のガス導入系が備えてあり、1 系統は水蒸気ガスを導入でき、他の 1 系統はアルコール等の炭化水素 (HC) ガスを導入できる。水およびアルコール類は、導入前に液体窒素による固化と TMP 排気による脱気をくりかえし、不純物ガスを取り除いた。導入ガスの圧力は、いずれも手動のニードルバルブで調整した。メインチェンバーには 4 重極質量分析計が装備してあり、2 種類のガスを同時に導入する時は、導入ガス圧の全圧のほかに、特定質量数の成分分圧が一定となるようにニードルバルブを調整した。

試料ホルダーは真空槽から電氣的に絶縁されていて、リード線とフィードスルーを通して、EUV 照射による光電子放出電流を測定できる。これを用いて、ビームラインの分光器で分光した軟 X 線を試料の照射領域に当て、*in situ* で全電子収量法による表面分析ができる<sup>12)</sup>。この場合、光量不足を補うため  $50 \mu\text{m}$  のピンホールの代わりに水平方向に  $200 \mu\text{m}$  のスリットを用い、また鉛直方向はビームが集光されるため、試料上でのビームサイズは  $450 \mu\text{m}$  程度であった。吸収測定は主に炭素および酸素 (O) の K 吸収端付近のエネルギーについて行った。試料台ステージを X および Z 方向にスキャンすることにより、吸収分光による元素濃度のマッピングができる。

Fig. 3 に EUV 照射ビームの形状を示す。ビームサイズは約  $2 \text{ mm}$  角で、強度分布は水平方向がガウス型、鉛直方向は周辺部を除きほぼ平坦な分布であった。ニュースバルの  $1.0 \text{ GeV}$  運転時、蓄積電流  $200 \text{ mA}$  のとき、照射中心の EUV フラックス密度は  $200 \text{ mW/mm}^2$  程度あり、この値は EUVL 投影光学系のもっとも照度の高い多層膜ミラーの約 1000 倍という値である。

Fig. 4 に、水分圧  $1.3 \times 10^{-3}$  Pa で EUV 照射したときの Ru-cap Mo/Si 多層膜の反射率変化の一例を示す。反射率測定には C ミラーで高次光をカットしたアンジュレータ光をそのまま用い、 $50 \mu\text{m}$  のピンホールでビームサイズを

制限して、照射領域の各部分を測定した。アンジュレータ1次光のバンド幅は、多層膜の反射バンド幅 ( $\Delta\lambda = 0.5$  nm) のほぼ半分程度であった。反射率計測はPCで制御して、10~15分の時間間隔で自動的に EUV 照射と反射率測定ができる。反射率は未照射時の反射率値で規格化した相対反射率で示す。ドーズ量はフォトダイオード感度のカタログ値をもとに校正した。Fig. 5に同じ試料の EUV 照射後の反射率分布マップの一例を示す。用いた多層膜試料には、もともと周期長の分布等に由来する試料面内の反射率分布があったため、EUV 照射の前後で反射率マップを測定し、両者の差を取って、EUV 照射による影響のみを

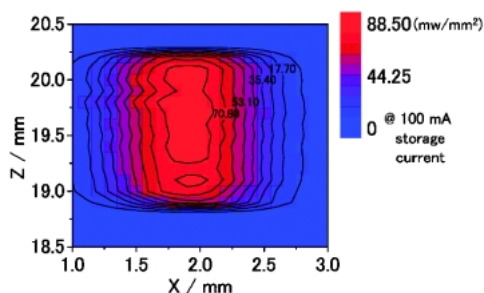


Fig. 3 EUV irradiation beam profile at the sample holder for storage current of 100 mA.

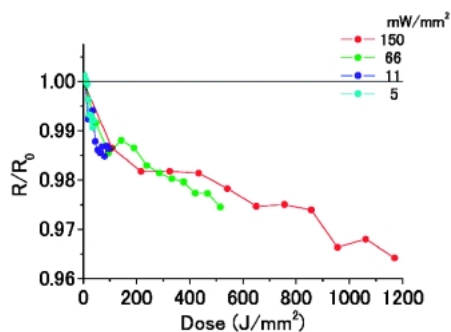


Fig. 4 Relative reflectivity change of a Ru-cap Mo/Si multilayer mirrors as a function of EUV dose. The measurements were carried out sequentially at several different irradiation intensity points by PC controlled program.

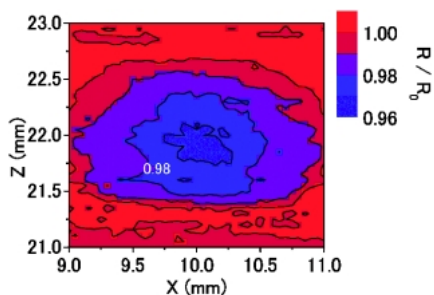


Fig. 5 An example of reflectivity map at the EUV irradiation area of Ru-capped Mo/Si multilayer obtained, *in situ*, after the irradiation.

抽出した。

### 3. 軟 X 線吸収分光法を用いた *in situ* での表面分析

全電子収量 (TEY) モードによる軟 X 線の吸収分光 (XAS) 法は、装置が比較的簡便であり、*in situ* での表面分析に適した手段である。一方、一般に多くの場合、XAS は定量的な議論をするのは不向きであると言われる。それは、軟 X 線領域での光電子放出量が表面状態により敏感に変化し、試料間の吸収強度を比較しにくいからである。しかし我々は、同一試料(基板)内のコンタミネーションの増減を観察する場合には、ある程度の半定量的な議論ができるのではないかと考えた。そこでまず、コンタミネーションを模擬した標準試料を作製し、その吸収強度の変化を測定してみた。標準試料の断面模式図を Fig. 6 に示す。試料は Ru-cap および Si-cap の Mo/Si 多層膜 (50 層対) の表面にさらに C 膜を 1~5 nm の厚さで堆積したもの (a)、および Si-cap 多層膜上に 0.5 nm ずつ厚みを変え、金属 Ru と RuO<sub>2</sub> を全厚で 1.7 nm になるように連続堆積したもの (b) である。標準試料の cap 層はスパッタリング法で作製し、膜厚はあらかじめ求めた堆積レートをもとに、堆積時間で制御した。

Fig. 7 に C 膜の厚みの違う Ru-cap の多層膜標準試料の C-K 吸収端近傍の XAS スペクトルを示す。スペクトルは標準的な非晶質カーボンに類似し、285 eV 付近のすどい  $\pi^*$  共鳴吸収と 295 eV 付近の幅広の  $\sigma^*$  共鳴吸収が見られる。吸収強度は C の厚みにより変化し、厚い試料ほど吸収強度が大きい傾向であった。

285 eV における  $\pi^*$  と 295 eV における  $\sigma^*$  の吸収強度を C の厚みに対してプロットしたものを Fig. 8 に示す。C 厚みと吸収強度は 4 nm まで直線的な関係があり、コンタミネーションの厚みに対するある程度の定量的議論ができそうであることがわかった。C 厚み 5 nm では直線関係からのずれが見られる。これは光電子の脱出深さに由来する吸

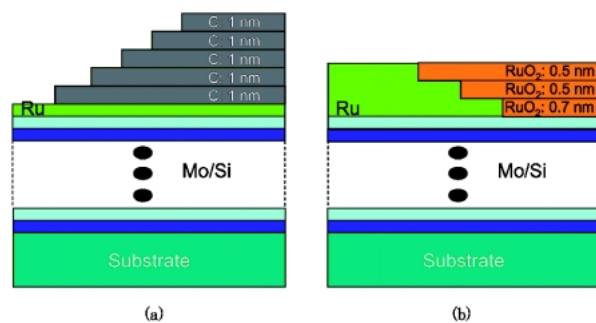


Fig. 6 Schematic diagram of the Ru-capped Mo/Si multilayer standard samples for carbon deposition (a) and surface oxidation (b). The number of layer pairs in the Mo/Si multilayer was 50.

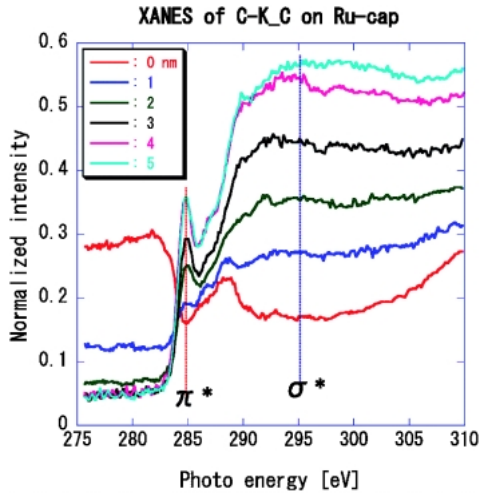


Fig. 7 Carbon K-edge XAS spectra of the standard carbon films deposited on the Ru-capped Mo/Si multilayer. The thickness of C is denoted in the legend.

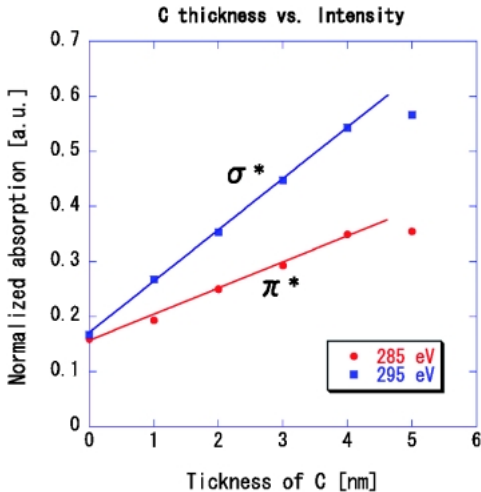


Fig. 8 Calibration curves of carbon K-edge absorption intensity vs. thickness of standard carbon layers deposited on Ru-capped Mo/Si multilayer samples.

収強度の飽和が起きているためと考えられる。同じ試料を外部で XPS 分析したところ、C 厚みに対する強度の直線性は 2 nm 程度であった。この差は XPS が電子エネルギー分析器により、試料表面から放出される光電子のうち、膜内部での散乱をほとんど受けていない電子のみを検出しているのに対し、TEY モードの XAS は、膜内部で散乱されエネルギーの低くなった、より深い場所から放出される電子も含めて検出していることによる。

多層膜のコンタミネーションを定量的に議論する場合に、実験的にもうひとつ問題があることが分かった。後述べるようにコンタミネーションの要因である C 膜の堆積と表面酸化は競合し、かつ拮抗して起こることが分かってきた。一般に表面酸化が起こると、光電子放出しやすくなることが知られている<sup>13)</sup>。このため元素濃度のマッピング

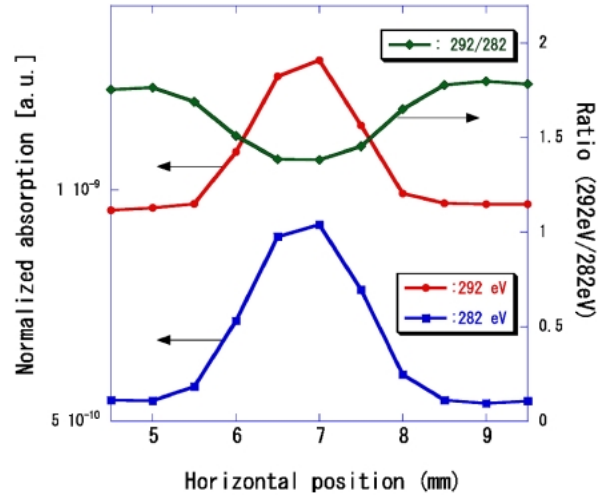


Fig. 9 Distribution of the XAS intensity near the EUV-irradiated area, in which the intensity was measured in the lower energy (282 eV) and the upper energy (292 eV) of C-K absorption edge of the Si-capped multilayer.

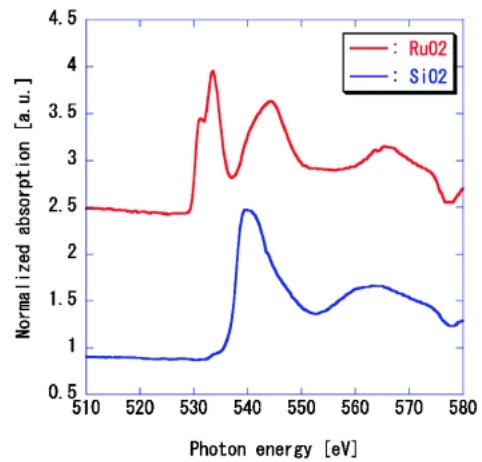


Fig. 10 XAS spectra at O-K edge of RuO<sub>2</sub> and SiO<sub>2</sub> thin film obtained by the present system.

を行う場合、例えば C 吸収端のあるひとつのエネルギーのみに注目して強度を測定したのでは、表面で C 堆積が進んでいるのか、酸化が進んでいるのか分からなくなる。

Fig. 9 にその例と解決策を示す。これは、表面酸化しやすい Si-cap 多層膜に水分導入雰囲気下で EUV 照射したあとの、C-K 吸収端における吸収強度分布を測定したものである。吸収端より高エネルギー側の 292 eV の強度は照射中心付近で増加しており、一見、C の堆積量が増えているように見える。しかし、吸収端より低エネルギー側の 282 eV での強度も照射中心で増加しており、これは酸化が起こって基板からの放出電流が増えたことが要因として解釈できる。そこで両者の比を取ってプロットすると、その値は照射中心で減少していることが分かった。すなわち、この例の場合、EUV 照射により酸化が進行し、照射

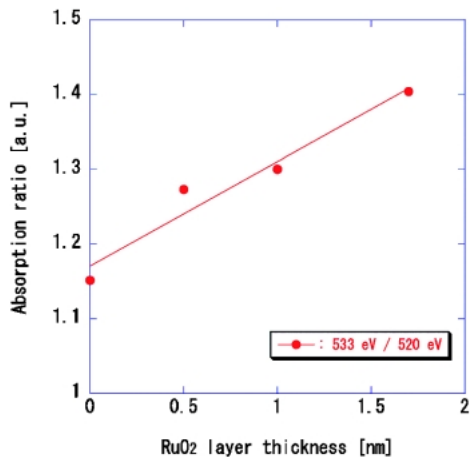


Fig. 11 Calibration curve of oxygen K-edge absorption intensity vs. thickness of standard oxide layers deposited on Ru-capped Mo/Si multilayer samples.

中心付近の炭素量は減少したと考えられる。同じ試料を外部でXPS分析したところ、炭素濃度の減少が確認された。これより本報告でのCおよび酸素Oの濃度分布の測定には、吸収端の高エネルギー側および低エネルギー側での強度を測定し、その比を求めてプロットすることとした。

Fig. 10に、BL9で測定した酸化ルテニウムRuO<sub>2</sub>と酸化珪素SiO<sub>2</sub>のO-K吸収端における吸収スペクトルを示す。RuO<sub>2</sub>の吸収は533 eV付近にピークがあり、SiO<sub>2</sub>の吸収は539 eVに吸収ピークがあり、わずかにずれている。これよりRu-cap多層膜上のRu膜の酸化のようすを調べるためには、533 eVの吸収強度に注目して測定すればよいことが分かる。このようにして測定したRuO<sub>2</sub>/Ruコート標準試料のO-K吸収端における吸収強度をRuO<sub>2</sub>の厚みに対してプロットしたものをFig. 11に示す。RuO<sub>2</sub>厚みと吸収強度の間にもほぼ直線的な関係が見られ、酸化膜の厚みに対しても、ある程度の定量的な議論のできることが分かった。

#### 4. イソプロパノールの導入による表面酸化の抑制

以上の準備をもとに、ここでは露光装置環境を模した真空雰囲気において、イソプロパノール(IPA)を導入することにより多層膜の表面酸化を抑制できた実験例を紹介する。

露光装置真空度は、コンタミネーション防止の観点からは、できるだけ高真空を実現することが望ましい。しかし、実際はOリングを用いた真空シールが必要であり、また精密機器の温度上昇を伴うベキング等ができないことから10<sup>-5</sup> Pa台の真空度になると想定される。また残留ガスの主成分はH<sub>2</sub>Oであると想定される。これより、メインチャンバーに水蒸気ガスを1.3×10<sup>-5</sup> Paまで導入し、

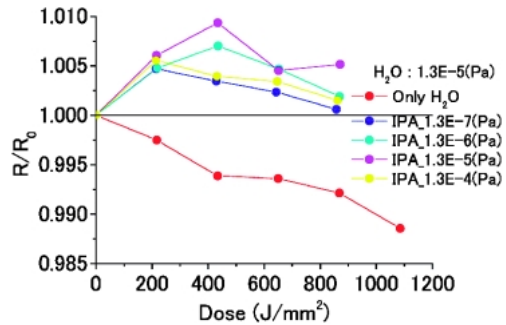


Fig. 12 Relative reflectivity change of the multilayer as a function of the EUV dose irradiated under various IPA vapor pressure.

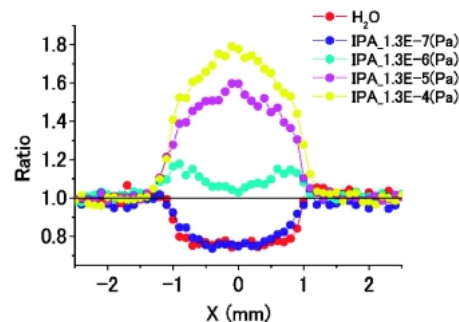


Fig. 13 Concentration map of carbon element at the EUV-irradiation area of the IPA introduction experiment.

さらにIPAを $1.3 \times 10^{-7} \sim 1.3 \times 10^{-4}$  Paの範囲で変化させて導入し、EUV照射したときの反射率および表面状態の変化を測定した。試料はRu-cap Mo/Si多層膜である。

Fig. 12は、反射率の逐次変化である。反射率はピンホールを用いて測定するため、多少バラつきが大きく、測定誤差は0.5%程度である。H<sub>2</sub>Oのみを導入した場合、ドーズ量1200 J/mm<sup>2</sup>のEUV照射により相対反射率は約1.2%減少した。これにさらにIPAを同時に導入すると $1.3 \times 10^{-7}$  Paより反射率の低下は見られなくなり、未照射時の反射率がほぼ維持された。IPAを導入した場合に、反射率が初期値よりやや増加しているように見える。これはその後詳細に検討した結果、Ru層が照射実験前に自然酸化し、多層膜の反射率が作製直後に比べてわずかに低下していることが分かった。また、IPAなどの炭化水素雰囲気下でEUV照射すると、その自然酸化膜が還元され、反射率の低下が回復することが分かってきた<sup>14)</sup>。

Fig. 13に、照射試料のC-K吸収端の吸収強度分布、すなわちCの濃度分布を示す。H<sub>2</sub>OガスのみまたはIPAを $1.3 \times 10^{-7}$  Paだけ導入した場合は照射中心で、Cの濃度が未照射部(周辺)と比較して減少していることが分かる。一方、IPA濃度の高い $1.3 \times 10^{-5} \sim 1.3 \times 10^{-4}$  Paの条件では、逆にCの濃度が周辺に比べて増加している。そして、中間的な $1.3 \times 10^{-6}$  Paの条件においては、C濃度の顕著な増加も減少も見られないことが分かった。Fig. 14

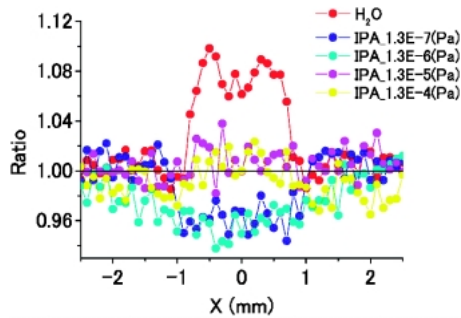


Fig. 14 Concentration map of oxygen element at the EUV-irradiation area of the IPA introduction experiment.

に、上と同じ試料の *O-K* 吸収端の吸収強度分布、すなわち *O* の濃度分布を示す。 $\text{H}_2\text{O}$  ガスのみの場合は照射中心で、*O* の濃度が未照射部（周辺）と比較して増加していることが分かる。一方、IPA を導入した  $1.3 \times 10^{-7} \sim 1.3 \times 10^{-6}$  Pa の条件では、*O* の濃度が周辺と比較してやや減少している。また  $1.3 \times 10^{-5} \sim 1.3 \times 10^{-4}$  Pa の条件では、*O* 濃度は未照射部分とほぼ同等になった。IPA ガス導入圧に対する *O* 濃度の依存性には *C* 濃度ほどの直線的な関係は見られなかった。これについて、ここでは紹介しないが同様の HC ガス導入実験をエタノールについてもやってみた。エタノールの方は *O* 濃度にもエタノール導入ガス圧に依存した直線的な関係が見られ、*C* 濃度と *O* 濃度のエタノール導入圧に対する逆転現象が見られた<sup>15)</sup>。

以上の実験より、これまで多層膜の反射率を低下させる要因として知られていた炭素膜の堆積と表面酸化の反応は、 $\text{H}_2\text{O}$  と HC が残留する真空雰囲気では、実は競合して起こる反応であり、かつ拮抗することが分かってきた。すなわち、HC ガス濃度の低い真空雰囲気では、おもに表面に吸着した  $\text{H}_2\text{O}$  分子に EUV 光が当たり、酸素を含んだ活性化学種が生成されて、これが多層膜表面から拡散して表面酸化を引き起こすものと考えられる。しかし、HC ガスの濃度が高くなると、EUV 照射に伴い *C* を含む活性化学種も多く生成し、これが酸素を含んだ活性化学種とすみやかに反応するため、表面の酸化が抑制されるようになる。さらに HC ガスの濃度が高い真空雰囲気においては、*C* を含む化学種が多く生成され、*C* 同士の化学結合も多く形成されるようになり、*C* 膜の堆積が起こる。このようなメカニズムが、本実験を説明するのに妥当なモデルと考えられる。またこのことから、露光装置雰囲気におけるコンタミネーションを抑制するためには、 $\text{H}_2\text{O}$  分圧と CH 分圧をうまくバランスさせ、酸化も炭素膜の堆積も起こらないように雰囲気を管理すればよいことが分かってきた。

以上より、本研究で開発したコンタミネーション評価装

置および *in situ* での軟 X 線吸収による表面分析手法は、コンタミネーション現象を理解するための非常に有用な情報を与えることが分かった。今後はこの装置を用いて、EUV の光量や  $\text{H}_2\text{O}$  分圧、CH 分圧とコンタミネーションとの量的関係等について、さらに詳しく調べていく予定である。

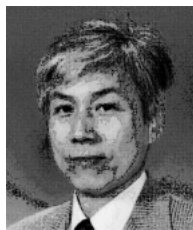
#### 謝辞

本研究は、次世代半導体デバイスプロセス等基盤技術プログラムの一環として、新エネルギー産業技術開発機構 (NEDO) からの委託により行われた。

#### 参考文献

- 1) 木下博雄, 渡邊健夫, 新部正人: 応用物理 **71**, 190-194 (2002).
- 2) L. E. Klebanoff, M. E. Malinowski, P. Grunow, W. M. Clift, C. Steinhaus, A. H. Leung and S. J. Haney: Proc. SPIE **4343**, 342-346 (2001).
- 3) H. Meiling, B. Mertens, F. Stietz, M. Wedowski, R. Klein, R. Kurt, E. Luis and A. Yakshin: Proc SPIE **4506**, 93-104 (2001).
- 4) Y. Kakutani, M. Niibe, K. Kakiuchi, H. Takase, S. Terashima, H. Kondo, S. Matsunari, T. Aoki, Y. Gomei and Y. Fukuda: Proc. SPIE **5533**, 47 (2004).
- 5) 新部正人: 放射光 **19**, 21-26 (2006).
- 6) S. Bajt, H. N. Chapman, N. Gygyen, J. Alameda, J. C. Robinson, M. Malinowski, E. Gullikson, A. Aquila, C. Tarrío and S. Grantham: Appl. Opt. **42**, 57505758 (2003).
- 7) J. H. Underwood, E. M. Gullikson and K. Nguyen: Appl. Opt. **32**, 6985-6990 (1993).
- 8) S. Bajt, J. B. Alameda, T. W. Barbee Jr., W. M. Clift, J. A. Folta, B. Kaufmann and E. A. Spiller: Opt. Eng. **41** 1797-1804 (2002).
- 9) L. E. Klebanoff, W. M. Clift, M. E. Malinowski, C. Steinhaus, P. Grunow and S. Bajt: J. Vac. Sci. Technol. B20, 696-703 (2002).
- 10) 安東愛之輔, 服部 正, 細野和彦, 神田一浩, 木下博雄, 松井真二, 銘苅春隆, 新部正人, 内海裕一, 渡邊健夫: 放射光 **15**, 366-346 (2002).
- 11) M. Niibe, M. Mukai, S. Miyamoto, Y. Shoji, S. Hashimoto, A. Ando, T. Tanaka, M. Miyai and H. Kitamura: AIP Conf. Proc. No. **705** (AIP, New York, 2004), pp. 516-579.
- 12) M. Niibe, Y. Kakutani, S. Terashima, H. Takase, Y. Gomei, S. Matsunari, T. Aoki, K. Murakami and Y. Fukuda: Jpn. J. Appl. Phys. Part 1 **45**, 5373-5377 (2007).
- 13) J. Stoehr: 'NEXAFS Spectroscopy', Springer-Verlag Berlin, (1996).
- 14) 古井田啓吾, 新部正人, 角谷幸信, 松成秀一, 青木貴史, 高瀬博光, 寺島 茂, 五明由夫, 村上勝彦, 福田恵明: 第68回応用物理学学会講演予稿集 No2, 734 (2007).
- 15) M. Niibe, Y. Kakutani, K. Koida, S. Matsunari, T. Aoki, S. Terashima, H. Takase, K. Murakami and Y. Fukuda: J. Vac. Sci. Technol. **B25**, 2118-2122 (2007).

● 著者紹介 ●



**新部正人**

兵庫県立大学高度産業科学技術研究所・  
准教授

E-mail: niibe@lasti.u-hyogo.ac.jp

専門：X線光学

**【略歴】**

1984年3月、北海道大学大学院理学研究科化学第二専攻博士課程修了，理学博士。1984年4月よりキヤノン勤務。研究開発本部中央研究主任研究員を経て，1994年10月より姫路工業大学高度産業科学技術研究所，助教授。2004年4月兵庫県立大学の統合により現職。



**古井田啓吾**

兵庫県立大学大学院工学研究科物質系工学専攻博士前期課程・在学中

E-mail: tb03z022@lasti.u-hyogo.ac.jp

専門：材料工学



**角谷幸信**

極端紫外線露光システム技術開発機構  
(EUV) 相模原開発センタ・研究員

E-mail: kakutani.yukinobu@nikonooa.net

専門：物性物理学

**【略歴】**

2003年姫路工業大学大学院理学研究科物質科学専攻博士課程修了，理学博士。2003年姫路工業大学大学院理学研究科客員研究員，高度産業科学技術研究所非常勤研究員を経て2004-2007年兵庫県立大学高度産業研究所非常勤研究員。2007年4月ニコンに入社し，現職。

**松成秀一**

極端紫外線露光システム技術開発機構  
(EUV) 相模原開発センタ・研究員

E-mail: matsunari.shuichi@nikonooa.net

専門：リソグラフィ装置開発

**青木貴史**

極端紫外線露光システム技術開発機構  
(EUV) 相模原開発センタ・研究員

E-mail: taoki@nikongw.nikon.co.jp

専門：リソグラフィ装置開発

**寺島 茂**

極端紫外線露光システム技術開発機構  
(EUV) 宇都宮開発センタ・研究員

E-mail: terashima.shigeru@canon.co.jp

専門：リソグラフィ装置開発

**高瀬博光**

極端紫外線露光システム技術開発機構  
(EUV) 宇都宮開発センタ・研究員

E-mail: takase.hiromitsu@canon.co.jp

専門：リソグラフィ装置開発

## Study on Contamination Inhibition Mechanism for Extreme Ultraviolet Multilayer Mirrors Using *in situ* XAS Analysis

Masahito NIIBE<sup>1</sup>, Keigo KOIDA<sup>1</sup>, Yukinobu KAKUTANI<sup>1,2</sup>,  
Shuichi MATSUNARI<sup>2</sup>, Takashi AOKI<sup>2</sup>, Shigeru TERASHIMA<sup>2</sup>,  
Hiromitsu TAKASE<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Laboratory of Advanced Science and Technology for Industry, University of Hyogo  
3-1-2 Kouto, Kamigooori, Ako-gun Hyogo 678-1205, Japan

<sup>2</sup>Extreme Ultraviolet Lithography System Development Association (EUVA)

11-1 Ekimae-honcho, Kawasaki-ku Kawasaki-City, Kanagawa, 210-0007, Japan

**Abstract** A contamination evaluation system that can irradiate high-flux extreme ultraviolet (EUV) and measure, *in situ*, the reflectivity of multilayer mirrors for lithography optics was constructed to develop a contamination inhibition mechanism. The system can also be used to measure and map soft X-ray absorption spectra in the irradiation area, which is very important for the *in situ* evaluation of contamination mechanism. The lifetime evaluation of Ru-capped Mo/Si multilayer and elemental concentration mapping were carried out in the EUV irradiated area under the iso-propanol (IPA) introduced vacuum atmosphere. The result gave us very important information to inhibit both surface oxidation and carbonaceous film deposition on the EUV multilayer mirrors.

---