

# EUV リソグラフィ用マスク上のカーボン堆積実験： 洗浄技術の評価

## Carbon deposition experiment on a mask for EUV lithography: Evaluation of cleaning technologies

高木紀明<sup>a</sup>, 穴澤俊久<sup>a</sup>, 西山岩男<sup>a</sup>, 池田弘幸<sup>b</sup>  
Noriaki Takagi<sup>a</sup>, Toshihisa Anazawa<sup>a</sup>, Iwao Nishiyama<sup>a</sup>, Hiroyuki Ikeda<sup>b</sup>

<sup>a</sup>(株) 半導体先端テクノロジーズ, <sup>b</sup>立命館大学 SR センター  
<sup>a</sup>Semiconductor Leading Edge Technologies, inc., <sup>b</sup>The SR Center, Ritsumeikan Univ.

EUV リソグラフィでは EUV 露光中にマスクパターン上にカーボンコンタミネーションが堆積し、転写精度に影響することが知られており、クリーニング技術の開発が求められている。本研究では、放射光照射によって堆積させたカーボン膜を試料として洗浄技術の評価を行った。分析の結果、カーボン膜の主成分はカーボンと水素であり、EUV 照射によって生成するコンタミネーションと近いことがわかった。本カーボン膜に対して、VUV/O<sub>3</sub> 洗浄と Plasma 洗浄を適用し、その性能を評価した。両者とも洗浄能力を有するが、プラズマ洗浄の方が高い洗浄効果を有することが確認された。また、VUV/O<sub>3</sub> では、酸素濃度の洗浄効果への影響が確認された。

In EUV lithography, deposition of carbon contamination on the pattern surface during EUV light exposure is well known. Such carbon contamination affects the precision of pattern transcription, so cleaning technologies are required to be developed. In this study, carbon film was formed by a synchrotron irradiation. We found that the SR-deposited carbon film is composed of Carbon and Hydrogen, and similar to the carbon contamination due to EUV exposure. We applied two dry cleaning technologies (VUV/O<sub>3</sub> and plasma) to this SR-deposited carbon: Reflectivity recovery was confirmed in both cleaning technologies. However, plasma cleaning showed higher removal capability. In VUV/O<sub>3</sub> cleaning, the oxygen concentration influenced the contamination removal capability.

Keywords: EUV Lithography, Mask, Optics, Carbon Contamination, Cleaning

**背景と研究目的：** EUV (Extreme Ultraviolet) リソグラフィは、次世代半導体デバイスを製造する上で、本命の微細加工技術と目され、研究開発が本格化している[1]。ただし、産業界で経験の少ない極端紫外光を使用するため、克服すべき技術課題も多い。露光中に発生するミラーやマスクのコンタミネーションもその一つである[2]。EUV光が原因となるコンタミネーションには、(1)真空中の残留有機物に起因するカーボン付着と、(2)残留水分による表面の酸化の2種類があるが、現状の露光装置の条件では(1)のカーボン汚染が主原因となっている。したがってその対策としては、堆積するカーボン膜の特性を理解し、有効なクリーニング方法を確立することが重要となる[3]。

しかし、技術開発の過程において、実際に露光に使用した光学素子を試料とする機会のごく

限られており、実験用の模擬汚染膜が必要となる。一方、電子ビームによる模擬汚染膜も用いられるが、反射率測定のように試料面積が必要な実験には適していない。本課題では、油回転ポンプ環境の照射ビームラインを利用して、多層膜ブランク上にカーボン膜を形成し、そのカーボン膜に対し各種クリーニング方法を適用し、その除去性能の評価を行った。

**実験：** 実験はBL-6のLIGA 照射用ビームラインと、BL-14のSMILE II 照射用ビームラインを用いて行った。マスク用に治具を作成し、スキャンモードによって照射を行った。反射率測定はEUV Technology社製のEUV反射率測定装置を用いて行った。多層膜ブランクの初期反射率(EUV波長)を測定した後に放射光照射によるカーボンコンタミネーションを堆積させ、反射率

変動を確認した。その後に各種洗浄を行い、反射率の回復状況を確認した。

### 結果、および、考察：

#### (1) 堆積膜による反射率低下

Si キャップ MoSi 多層膜ミラー上に、上記模擬カーボン膜を堆積した後に反射率(EUV 波長)を測定し、堆積前と比較した。Fig1 に照射前後の反射率カーブ(照射前：青、照射後：赤)を示した。模擬カーボン膜堆積により、13.5nm 波長付近で約 7%の反射率低下が生じていることが分かる。

#### (2) 堆積膜の成分分析

上記模擬カーボン膜に対し、RBS 分析、ERDA 分析を行い、構成成分を確認した。Fig.2 に構成成分比の概要を示した。検出された元素と割合は、カーボン：43%、水素：38%、酸素：11%、珪素：8%であり、構成元素の種類は EUV 照射により堆積するカーボン膜と近い結果が得られ、洗浄評価サンプルとして適当であることが確認された。

#### (3) クリーニング評価

上記の模擬カーボン膜サンプルに対し、VUV/O3 洗浄、プラズマ洗浄を行い、反射率の回復量を確認した。

VUV/O3 洗浄では、VUV 光(172nm)を N2/O2 混合雰囲気中に照射し、生成した酸素ラジカルによる洗浄を行った。酸素濃度が 500ppm の条件では、20min 洗浄で約 5.8%の反射率回復が確認された。Fig.3 に照射前：青、照射後：赤、洗浄後：黄の反射率カーブを示した。これに対し 45ppm の条件では約 2.6%の回復となった。酸素濃度により発生する酸素ラジカル量に変化し、その影響により模擬カーボン膜除去量に変化したことが推定される結果が得られた。

プラズマ洗浄では、ラジカルを生成するガスとして H2/N2 混合ガスと H2O での洗浄評価を行った。VUV/O3 洗浄と同様に 20min の洗浄を行った。結果として、両条件とも初期反射率程度まで回復し、今回設定したプラズマ洗浄条件は、模擬カーボン膜サンプルに対し極めて高い除去能力を有することが確認された。

今回の評価結果より、評価を行った各種洗浄条件のカーボン膜除去能力の比較が実施できた。また、EUV 照射によるカーボン膜と同種の模擬カーボン膜の除去に対し、今回評価を行った洗浄条件は洗浄能力を有することが確認できた。

### 文献

- [1] 西山岩男, "極端紫外線リソグラフィ技術の概要", レーザー研究 36 (2008) 673-683.
- [2] 西山岩男, "コンタミネーション制御技術",

- 「EUV 光源の開発と応用」(シーエムシー出版) 豊田浩一, 岡崎信次監修 (2007) 247-263.
- [3] 西山岩男, "EUV 露光におけるクリーン化技術", クリーンテクノロジー 19 (2009) 21-25..

### 論文発表状況

- [1] Noriaki Takagi, Toshihisa Anazawa, Iwao Nishiyama, Osamu Suga, "Evaluation of the contamination removal capability and Multilayer degradation in various cleaning methods", Proc. SPIE 7823 (2010) 782327-1

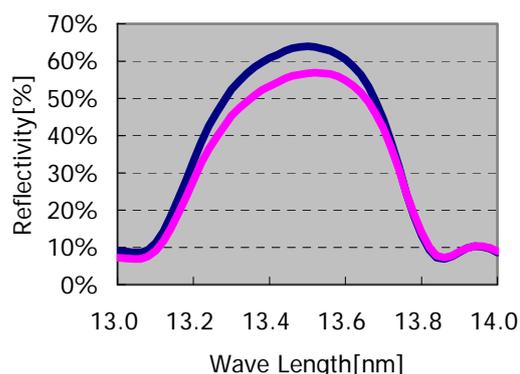


Fig. 1 SR 照射/カーボン堆積による反射率変動

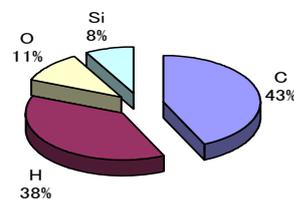


Fig. 2 堆積膜の構成成分

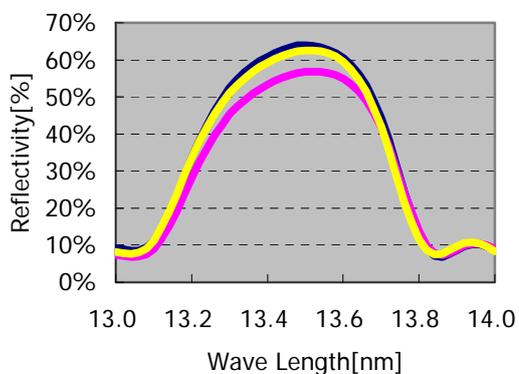


Fig.3 VUV/O3 洗浄による反射率回復