

EUV リソグラフィ用マスク上のカーボン堆積実験 Carbon deposition experiment on a mask for EUV Lithography

西山 岩男^a, 穴澤俊久^a, 高木紀明^a, 池田弘幸^b
Iwao Nishiyama^a, Toshihisa Anazawa^a, Noriaki Takagi^a, Hiroyuki Ikeda^b

^a(株)半導体先端テクノロジーズ, ^b立命館大学
^aSemiconductor Leading Edge Technologies, inc., ^bRitsumeikan Univ.

EUV マスクおよびミラー上に発生するカーボンコンタミネーションについて、その発生機構の理解とクリーニング技術開発を目的として、油回転ポンプの真空環境下において高エネルギー光照射を行うことにより、カーボン膜堆積の加速試験を行った。付着した膜の XANES 分析から、水素を多く含むカーボン膜が堆積しており、露光装置で発生するカーボンに近い膜であることを明らかにした。得られたカーボン膜をクリーニング技術の試料として利用し、反射率の回復を実証した。また、ナノスケールパターンを形成したマスク上にカーボンを堆積させ、その被覆特性を評価するための試料を作成した。

Accelerated carbon film growth was carried out using a rotary-pump-level vacuum chamber connected to a beamline (BL) with a Be window to investigate the nature of carbon contamination on masks and mirrors for EUV (extreme ultraviolet) lithography with the goal of developing a cleaning technology. The nature of the chemical bonds in the film was examined with XANES using BL-2 of the SR Center, and the spectra were compared with those for a mirror contaminated in an EUV exposure tool. The results revealed that the carbon film contained a large amount of hydrogen and is similar to that formed in the exposure tool. Using this type of carbon film to test cleaning technology, we successfully demonstrated the recovery of reflectivity. In addition, carbon film was formed on a nano-scale patterned mask and used to investigate the characteristics of the film coverage.

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、カーボン付着の加速・模擬実験を行うことを目的とした。

具体的には、以下の2テーマについて研究を進めた。多層膜ブランク上に形成したカーボン膜について、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う。微細パターンマスク上に模擬カーボン膜を形成し、その被覆形状を CD-SEM、TEM によって観察し、堆積過程について考察する。今期は、初回の実験であり、まず Si 基板を用いて、(1)堆積速度の見積もりと、(2)堆積膜の XANES 評価を行った。その上で多層膜上にカーボン膜を形成し、(3)クリーニング技術の評価実験を行った。また、(4)パターン付きマスク上での被覆特性を調べるためのサンプルを作成した。

実験： 実験は BL-5 の LIGA 照射用ビームラインと、BL-14 の SMILE 照射用ビームラインを用いて行った。ウェハ用、マスク用にそれぞれ治具を作成し、静止モードで堆積速度を見積もった上、面積が必要な場合は、スキャンモードによって照射を行った。堆積膜厚は分光エリプソメトリーを用いて計測し、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。XANES 測定は、BL- の軟 X 線分光ビームラインを使用して行った。(別課題：先端研究

結果、および、考察：

(1) 堆積速度の見積り

堆積時間を変えてシリコンウェハ上にカーボン膜を堆積することにより、堆積速度を見積もった。結果を Table 1. に示す。数時間の照射で、10nm レベルのカーボンを堆積することができ、今後の分析用、もしくはクリーニング用の試料を作成する上で、実用的な堆積速度を有することがわかった。

(2) 堆積膜の XANES 評価

堆積したカーボン膜の結合特性を、BL-2 の XANES によって測定した。また、露光装置内で発生したカーボン膜の測定も同時に行い、膜の性質を比較した。その結果、水素を多く含むカーボンが堆積し、照射に伴い水素の脱離が起こることが分かった^[1]。これは、露光装置内で成長したカーボン膜の観測結果と良い対応を示しており、EUV 露光装置内で発生するカーボン膜の模擬試料として適していることが分かった。

(3) クリーニング評価への応用

Si キャップ MoSi 多層膜ミラー上に、上記模擬カーボン膜を成長させ、現在 Selete にて開発中の新クリーニング技術を適用した。本方法は、高純度オゾンにエチレンを添加することによって活性度を向上させたオゾンクリーニング方法であり、これまでに極めて高いクリーニング速度を有することを実証している。しかし、反射率測定は、大面積試料の入手が困難なため、未実施であった。今回、スキャンモードを利用して、広範囲にほぼ均一なカーボン膜を堆積し、クリーニング前後の反射率比較を行った。結果を図 1 に示す。堆積により低下した反射率が、クリーニングにより回復することが明瞭に示された^[2]。

(4) パターン付きマスク上のカーボン堆積

Selete では、実露光マスクのカーボン被覆特性を CD-SEM や 3D-AFM によって観察している。その結果、EUV 光の入射方向に応じて非対称性が発生することを見出した。また、被覆特性に関する理論モデルを構築し、実験の比較を進めている。被覆特性を、詳細に調べるためには断面 TEM 観察が優れているが、実際に露光したマスクのサンプルは少なく、それを用いて破壊実験である TEM 観察を行う機会のごく限られている。本実験では、ナノスケールのパターンを有する EUV マスクについて、実際の露光条件と同じ 6 度の入射角で照射できるような治具を作成し、照射実験を行った。得られたカーボン付着試料は、TEM 観察に供して解析中である。

論文発表状況

- [1] 眞田智衛, 小島一男, 池田弘幸, 渡辺巖, 太田俊明, 西山 岩男, 穴澤 俊久, 高木紀明, 須賀治, "EUV 露光装置光学系に発生したカーボン汚染の XANES 測定", 第 57 回応用物理学関係連合講演会予稿集 17a-W-4 (2010) .
- [2] T. Anazawa, N. Takagi, O. Suga, I. Nishiyama, T. Miura, M. Kekura, "Novel Ozone-based Contamination Cleaning for EUV Optics", Submitted to The 54th International Conference on Electron, Ion, and Photon Beam Technology, & Nanofabrication (Anchorage) (2010) .

参考文献

- 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..

キーワード

- ・ EUV リソグラフィ
波長 13.5 nm の極端紫外光を用いて、半導体のパターンを露光転写の技術のこと。22 nm 以降のデバイス適用を目指して開発中。

Table 1. Carbon film thickness as functions of exposure time and dose

露光時間 (h)	露光量 (Ah)	堆積膜厚 (nm)	単位時間当たり堆積膜厚 (nm/Ah)
3	0.489	13.1	26.8
5	0.910	17.5	19.2
10	1.922	28.2	14.7

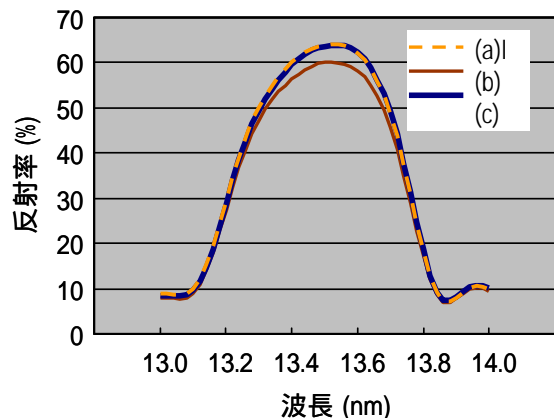


Fig. 1. EUV reflectivity change of Si-capped multilayer mirror; (a) initial, (b) contaminated and (c) cleaned ones.

