

立 S22-19

EUV リソグラフィ用光学素子の汚染評価のためのカーボン堆積 および XANES 測定

Carbon deposition on a mask and its XANES analysis for characterization of optical elements for EUV lithography

穴澤俊久^a, 高木紀明^a, 西山岩男^a, 池田弘幸^b, 石井秀司^bToshihisa Anazawa^a, Noriaki Takagi^a, Iwao Nishiyama^a, Hiroyuki Ikeda^b, Hideshi Ishii^b^a半導体先端テクノロジーズ, ^b立命館大学 SR センター^aSemiconductor Leading Edge Technologies, Inc., ^bThe SR Center, Ritsumeikan University

強い真空紫外光の照射を受けるリソグラフィ用 EUV ミラーおよびマスク表面上には、これらの性能を低下させる汚染物が堆積する。炭素および水素を主成分としたこの汚染物は堆積後の EUV 光照射により炭化が進行すると考えられている。今回、EUV 光照射により故意に堆積した汚染物にさらに EUV 光を照射した試料を RBS/ERDA および XANES で評価し、汚染物に対する EUV 光照射効果を見た。その結果、汚染物は炭素密度が増加する一方、炭素以外の成分は減少することが明らかとなった。同時に炭素の結合状態は sp^3 的結合から sp^2 的結合に変化することが分かった。

When the mirrors and masks for EUV (Extreme Ultraviolet) lithography system are exposed to strong EUV light, contaminants are formed on their surfaces and the performance of the system deteriorates. In order to understand the chemical nature of the contaminants, HR-RBS/HR-ERDA and XANES. HR-RBS/HR-ERDA results clearly showed that the density of carbon increases with EUV irradiation whereas those of H and other elements decrease. The C K-edge XANES results showed that at least a part of chemical bonds between carbon atoms are changed from sp^3 to sp^2 with EUV light irradiation.

Keywords: • EUV lithography, carbon contamination, carbonization, RBS/ERDA, XANES

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(EUV)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汚染(コンタミネーション、コンタミ)もその一つである[2]。コンタミは、スループットや転写露光品質の劣化を招くため、汚染抑制技術や洗浄技術の開発が必要となる[3]。これら技術開発を進めるには、露光装置内で発生するコンタミの実態を明らかにする必要がある。これまでの評価により、現状発生しているコンタミは主に炭素および水素からなる半炭化有機高分子的膜であることが分かっており[4]、堆積後の EUV 光の照射によって炭化が進行すると考えられている。今回は EUV 光照射の効果を直接的に見るため、SR からの EUV 光で堆積したコンタミ膜およびコンタミ膜にさらに EUV

光を照射した膜について膜質評価を行なった。

実験: 評価試料は立命館大学 SR センター BL-14 にてシリコン基板上に 2 keV~10 keV の SR 光を照射して作製した。試料は次の 3 種類である。(a)ロータリーポンプ(RP)排気環境で堆積した汚染膜。(b)(a)の汚染膜にさらにターボ分子ポンプ(TMP)排気環境で SR 光を照射した試料。(c)TMP 排気環境でシリコン基板上に直接 SR 光を照射した試料。SR 光の照射量は (a)、(c)で約 10 kJ/cm² 程度、(b)では二重照射により約 20 kJ/cm² 程度である。

評価は高分解能ラザフォード後方散乱法(HR-RBS)と高分解能弾性反跳検出分析(HR-ERDA)および C の K 吸収端の XANES により行なった。XANES 測定は立命館 SR センター BL-2 にて行なった。測定は全電子電流測定と蛍光測定の両方を用いて行った。

結果、および、考察: Fig. 1 に HR-RBS/HR-ERDA から求めた各試料構成原子の面密

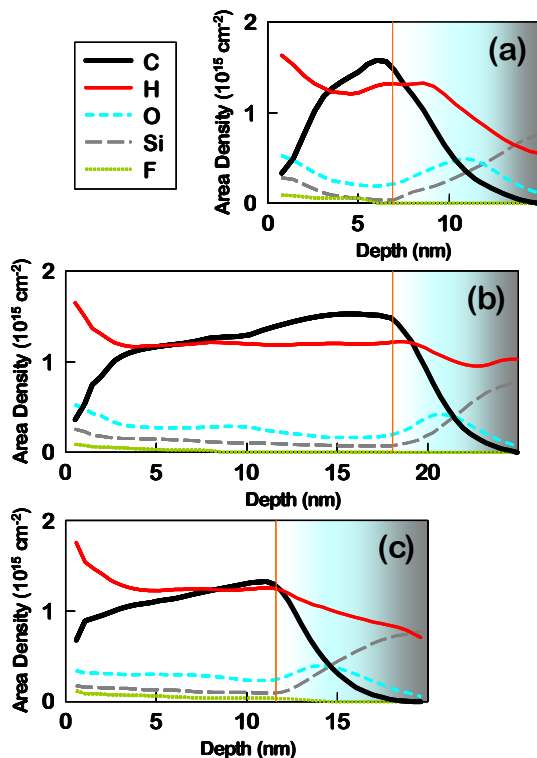


Fig. 1. Elementary depth profile of carbon films

度の深さ分布を示す。深さ 0 nm がコンタミ膜の表面である。それぞれの膜厚[(a)約 7 nm、(b)約 18 nm、(c)約 11.5 nm]は断面TEM計測で較正した。(a)と(b)はシリコン基板の自然酸化膜表面(橙色の線)で、(b)と(c)はコンタミ膜の表面で左右の位置を合わせて表示した。分析の結果、いずれの試料も主成分はCとHであり、他にO、Si、Fを含むことが分かった。これは実露光装置で発生するカーボン汚染の組成とほぼ一致する。

各元素の深さ分布を見ると、(a)と(c)では、コンタミ膜の表面近傍でH密度が高くC密度は低い。逆に基板界面付近では炭素密度が高くなっている。(b)と(c)を比較すると、(b)の表面から 10 nm 程度までの部分は(c)とほぼ同様の組成分布であり、(a)の上にそのまま(c)が堆積したものと考えれば妥当な結果である。最後に(a)と(c)を比較すると、(a)の表面近傍のC密度が低くH密度が高かった部分は、(c)ではC密度が高くHおよび他の元素の密度が低い組成に変化している((b)の Depth 10.5 nm 付近の部分)。これは EUV 光の重畳照射によりコンタミ膜からCを残してH等が脱離したものと解釈できる。前述の TEM で計測した膜厚では(a)+(c) > (b)となっており、H等の脱離によって膜が収縮していると考えられる。なお、特に(b)ではシリコン基板部分でHが多く検出されているが、これはコンタミ膜から脱離

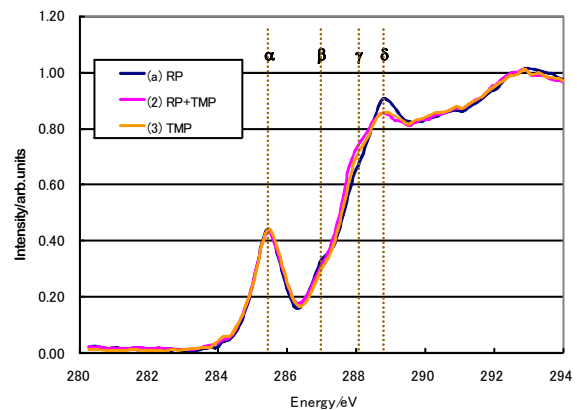


Fig. 2. XANES of carbon films

した H が、真空中に放出されるだけでなく基板側にも拡散している可能性を示唆している。

Fig. 2 にカーボン K エッジ近傍の XANES を示す。試料(a)~(c)は Fig. 1 の(a)~(c)に対応する。測定は全電子強度モニターで行い、入射光強度の波長依存性は、金からの放出電流を用いて補正した。285.5 eV にグラファイトの sp² 電子に特有のピーク(α)が、短波長側にアモルファスカーボンに特徴的なピークが観測された。(a)に比べ(b),(c)で 288.8 eV の δ ピークが減少しているようにも見えるが、差は小さい。これは表面近傍の構造が、ほぼ同等であるためと考えられ、再照射による炭化の進行を精度良く見るためには、カーボン堆積が起こらない条件で再照射を行う必要がある。

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.
- [4] Y. Nishiyama, T. Anazawa, H. Oizumi, I. Nishiyama, O. Suga, K. Abe, S. Kagata, A. Izumi "Carbon contamination of EUV mask: film characterization, impact on lithographic performance, and cleaning", Proc. SPIE 6921 (2008) 692116-1-692116-10.

論文・学会等発表

- [1] T. Anazawa, N. Takagi, O. Suga, I. Nishiyama, T. Miura, M. Kekura, H. Yano, N. Funakoshi, A. Izumi, SPIE Adv. Litho. 2011, [7969-22].