

EUV 用レジスト材料の X 線照射パルス幅依存性に関する研究

Study on X-ray pulse duration dependence of the resist material ablation for EUV radiation

東口 武史¹⁾, 坂上 和之²⁾, 鷲尾 方一³⁾, 原 広行¹⁾, 藤井 雄介¹⁾,
Takeshi HIGASHIGUCHI Kazuyuki SAKAUE Masakazu WASHIO Hiroyuki HARA Yusuke FUJII
田村 賢紀¹⁾, テン タンフン⁴⁾, 石野 雅彦⁴⁾, 錦野 将元⁴⁾
Toshiki TAMURA Thang-Hung DINH Masahiko ISHINO Masaharu NISHIKINO

¹⁾ 宇都宮大学

²⁾ 早稲田大学高等研

³⁾ 早稲田大理工学術院 先進理工学部

⁴⁾ 量研機構

(概要)

極端紫外 [extreme ultraviolet (EUV)] リソグラフィ技術は、レーザープラズマ光源や X 線光学素子、高感度レジスト材料の開発など、非常に進展している。近年のレーザープラズマ光源の高出力化により、システム内で使われる X 線光学素子は、通常のレーザーアブレーションと同様の現象を起こすと予測されている。EUV 光 (軟 X 線) による加工効率を高めるため、高感度のレジスト材に関するアブレーション過程の解明と高効率レジスト材料の実用化に向けた露光・現像実験を行っている。

キーワード : EUV, レジスト, アブレーション, 軟 X 線 (EUV) レーザー

1. 目的

レーザーによる微細加工技術の開発とその基礎プロセスとなるレーザーアブレーションの研究は、可視域や赤外域のレーザーにより調べられてきた。レーザー微細加工の精度を更に高める一つの方法は、更に短波長の光、すなわち紫外域から X 線の光を用いる方法である。この波長域を用いたレーザー加工技術を確立できると、従来の枠を超えた超微細加工が可能になるものと期待される。一方、近年の超短パルス X 線源 (高次高調波, プラズマ X 線レーザー, X 線自由電子レーザーなど) の急速な進展により、ピコ秒 (10^{-12} 秒) からフェムト秒 (10^{-15} 秒) 領域の高輝度軟 X 線による研究を進められるようになってきており、これらの光源と物質の相互作用の基礎研究や材料加工への応用に関する研究が進められる環境が整ってきた。

軟 X 線照射による微細加工の代表とされる EUV リソグラフィ技術では、レーザー生成プラズマ光源、X 線光学素子、高感度レジスト材料などの開発を始めとして、著しく発展しており、実用化を目前としている [1]。近年のレーザー生成プラズマ光源の高出力化により、EUV リソグラフィ露光システム内で用いられる X 線光学素子もまたレーザーアブレーションと同様の現象を起こし、損傷が発生する可能性が高い [2,3]。それに合わせて、EUV リソグラフィにおいて加工効率を高めた高感度のレジスト材も X 線強度が上昇することで、損傷リスクについて評価する必要性が高まってきた。このような EUV リソグラフィ用高感度レジスト材料について、照射される EUV 光のフルエンス依存性やパルス幅依存性などを含むアブレーション過程の解明や、現像を含めた露光実験を行うことにより、実用化に向けた EUV リソグラフィ用素子の開発につなげることを目的としている。

2. 方法

軟 X 線レーザー (波長 13.9 nm) における量研機構で確立した X 線レーザーの集光照射系を用いて、EUV リソグラフィ用レジスト試料をアブレーションさせると共に、アブレーション後の構造の表面を観察する。アブレーション後の表面状態は、AFM や SEM 等により観察し、軟 X 線レーザー照射時に試料表面に生じる損傷生成の効率や構造を評価・解析する。本研究課題により、軟 X 線レーザー集光照射技術の高精度化と軟 X 線レーザーによって引き起こされるアブレーション現象

や露光による加工効率を解明する。これらの高輝度超短パルス X 線源のパルス幅依存性を明らかにするため、ピコ秒プラズマ X 線レーザー（量研機構）以外に、ナノ秒プラズマ X 線（宇都宮大）、フェムト秒 X 線自由電子レーザー（理研・播磨）などの多様な量子ビームを用いたアブレーション・露光実験を行うことにした。

軟 X 線レーザー照射・損傷実験では、図 1 に示すように、軟 X 線照射は、直入射型の Mo/Si 多層膜球面鏡で集光した後に真空中で測定試料に照射した。軟 X 線の強度は、ジルコニウムフィルターの実効的な厚みを変えることにより透過率を変化させ、照射強度を調整した。

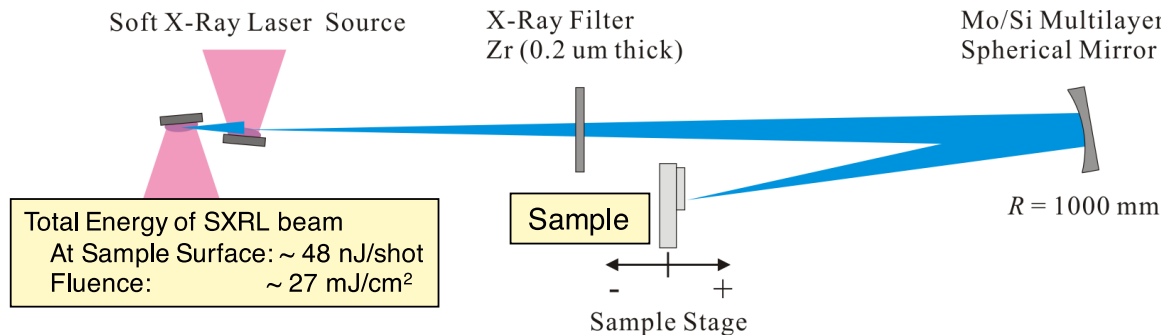


図 1：軟 X 線 (EUV) レーザー集光照射実験装置

3. 結果及び考察

図 2 は EUV リソグラフィに用いられるレジスト材料の基材に波長 13.9 nm の軟 X 線 (EUV) レーザーを集光照射したときのアブレーション痕の光学顕微鏡像と AFM により評価された穴形状の観察結果である。詳細はこれからであるが、数 100 nm 級のアブレーション痕が観測された。今後、照射フルエンス依存性などを明らかにすることとしている。

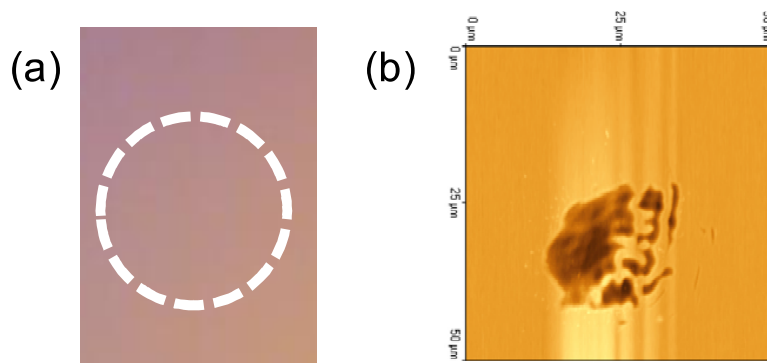


図 2：軟 X 線 (EUV) レーザー集光照射実験結果，(a) 光学顕微鏡および (b) AFM による観察結果

4. 引用(参照)文献等

- [1] 東口 武史, 藤岡 慎介, 砂原 淳, 柳田 達哉, 溝口 計, 「EUV 露光光源の研究開発の現状」, レーザー研究 42, 14 (2014).
- [2] M. Ishino, S. Ichimaru, M. Hatayama, N. Hasegawa *et al.*, “Analysis of Reflection Signal from EUV Multilayer Mirror for Irradiation Induced Damage Study,” International Conference on X-ray Lasers 2016, Nara, Japan (2016).
- [3] S. Ichimaru, M. Ishino, M. Nishikino, M. Hatayama, N. Hasegawa, T. Kawachi, T. Maruyama, K. Inokuma *et al.*, “Irradiation damage test of Mo/Si, Ru/Si and Nb/Si multilayers using the Soft X-ray laser built at QST,” International Conference on X-ray Lasers 2016, Nara, Japan (2016).