

## 高耐性軟X線光学素子に関する基礎研究

Basic study of EUV optics having high durability

市丸 智<sup>1)</sup>, 畑山雅俊<sup>1)</sup>, 奥 哲<sup>1)</sup>, 錦野将元<sup>2)</sup>, 石野雅彦<sup>2)</sup>

Satoshi ICHIMARU, Masatoshi HATAYAMA, Satoshi OKU, Masaharu Nishikino, Masahiko ISHINO

<sup>1)</sup>NTT-AT      <sup>2)</sup>量研

### (概要)

高光照射耐性 EUV 多層膜開発を目的とした EUV 多層膜への軟 X 線レーザー光照射損傷実験を実施している。照射の結果、Mo/Si 多層膜に損傷が発生し、損傷閾値が導出される可能性を見出した。

### キーワード：

EUV 多層膜, Mo/Si, 光照射損傷

### 1. 目的

EUVL 実用化に向けた高強度及び高輝度 EUV 光源開発が加速している。<sup>1)</sup>しかしながら EUV 光の高輝度化は、その光を受け、反射させる EUV 多層膜反射鏡の著しい損傷を起し、その結果生じる多層膜反射鏡の反射率低下は、生産の不安定性、メンテナンスの高頻度化、それに伴う生産コスト増等の問題を生じさせる。<sup>2)</sup>

我々は高光照射耐性 EUV 多層膜開発を目的とし、軟 X 線レーザー (SXRL) 発生装置を用いた EUV 多層膜への光照射損傷実験を実施している。本報告では、実験内容およびその結果について報告する。

### 2. 方法

照射するサンプルには、本波長域で標準的に用いられている Mo/Si 多層膜および Nb/Si 多層膜を準備した。これらの多層膜はマグネトロンスパッタリング法にて Si 基板上に形成した。<sup>3)</sup>作製した多層膜の反射率は、それぞれ 67%, 64%である。

照射する EUV 光は試料面で  $\phi 30$  mm であり、その強度は  $0.2 \mu\text{m}$  の Zr フィルタを用いた場合  $20 \sim 30 \text{ mJ/cm}^2$  である。照射強度は Zr フィルタの厚みにより調整した。Zr フィルタの厚みは、 $0, 0.1, 0.2, 0.3, 0.4 \mu\text{m}$  の 5 条件で、Zr フィルタがない場合の強度を 1 とした場合、それぞれの透過率は  $0.69, 0.48, 0.33, 0.16$  (計算値) に対応している。<sup>4)</sup>また、照射回数は  $1, 3, 5, 10$  回とし、その繰り返し照射レートは  $\sim 1 \text{ Hz}$  である。

### 3. 結果及び考察

照射した結果生じた損傷は、微分干渉顕微鏡 (DIC)、走査型電子顕微鏡 (SEM)、原子間力顕微鏡 (AFM) および透過型電子顕微鏡 (TEM) でその形状等を評価した。DIC および AFM で評価した結果、クレーター状の形状が生成されていることが確認できた。また、その深さは  $0.2 \mu\text{m}$  で、およそ多層膜周期の 20 ペア分に相当する。さらに、TEM 観察の結果から、クレーター直下では多層膜構造が確認されていないことがわかり、反射はほぼ得られないであろうと推測される。

さらに Mo/Si と Nb/Si 多層膜の損傷を比較すると Nb/Si 多層膜の損傷面積が、Mo/Si 多層膜のそれよりも小さく、Nb/Si 多層膜が Mo/Si 多層膜よりも高強度 EUV 光照射においては耐性がある可能性を示している。

### 4. 引用(参照)文献等

- 1) ギガフォトン, ニュース, <http://www.gigaphoton.com/ja/news/4549/> (2015)
- 2) Optics.org, News, <http://optics.org/news/6/1/28> (2015)
- 3) H. Takenaka et al., Proc. SPIE 1345, 213 (1991)
- 4) M. Ishino et al., J. Appl. Phys. B 116, 183302 (2014)