

## LEBENSDAUER VON EUV-OPTIKEN

### LIFETIME OF EUV OPTICS

Die Lebensdauer und die Kontamination der Optiken sind eine der größten Herausforderungen für die EUV-Lithographie. In Zusammenarbeit mit den Firmen Intel und Xtreme technologies wurden Lösungsansätze zur Verbesserung der Optiklebensdauer – wie die Optimierung von Capping-Schichten und die Entwicklung effizienter Reinigungstechniken – erarbeitet. Zum Vergleich der Lebensdauern von Mo/Si-Multilayerschichten mit verschiedenen Capping-Schichten (Ru, TiO<sub>2</sub>, ...) wurde ein neuer EUV-Teststand (ETS) aufgebaut. Dieser basiert auf einer gepulsten EUV-Quelle, die eine EUV-Leistung  $\geq 50 \text{ W}/2\pi$  liefert. Er ermöglicht die gleichzeitige Bestrahlung von bis zu vier Spiegeln (Abb. 1) mit Intensitäten von 25–100 mW/cm<sup>2</sup> für vergleichende Untersuchungen. So wurden die strahlungsinduzierte Kohlenstoffkontamination und -reinigung auf Mo/Si-Spiegeln mit Ru- und TiO<sub>2</sub>-Capping-Schichten untersucht. Kohlenstoffkontaminationen mit Dicken  $>5 \text{ nm}$  wurden durch Bestrahlung mit geringen EUV-Dosen in einer Tert-Butyl-Benzol-Atmosphäre erzeugt (Abb. 2, links). EUV-Bestrahlung in verschiedenen Atmosphären wurde für die In-situ-Reinigung der so kontaminierten Spiegel genutzt (Abb. 2, rechts). Die gleichen Mo/Si-Spiegel wurden in Umgebungsbedingungen mit hohem Wasserpartialdruck Synchrotronstrahlung mit hoher EUV-Intensität bis zu  $8 \times 10^3 \text{ mW}/\text{cm}^2$  ausgesetzt (Abb. 3).

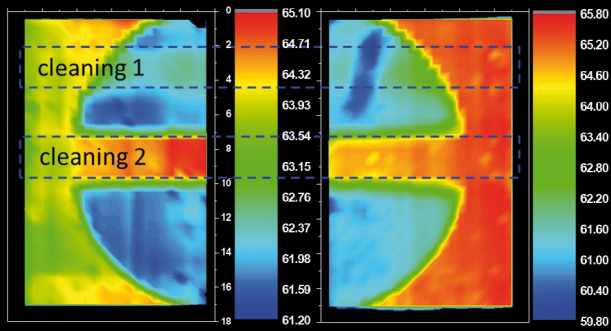
The lifetime and contamination of optics is one of the major challenges in extreme ultraviolet (EUV) lithography. In collaboration with Intel Corporation and Xtreme technologies, several potential solutions towards an improvement of optics lifetime such as the optimization of capping layers and the development of efficient cleaning techniques have been developed. In order to compare the lifetime of Mo/Si multilayer coatings with different capping layers (Ru, TiO<sub>2</sub>...), a new Exposure Test Stand (ETS) using a pulsed EUV source operated at a total power of  $\geq 50 \text{ W}/2\pi$  was developed. The capability for uniform exposure of up to four mirrors (Fig. 1) with an intensity of 25–100 mW/cm<sup>2</sup> provides ideal conditions for comparative studies. Radiation-induced carbon contamination and removal experiments on Ru- and TiO<sub>2</sub>-capped Mo/Si mirrors have been conducted at the ETS. Carbon contamination layers with thickness of  $>5 \text{ nm}$  were created by low-dose exposure of the mirrors in a tert-butyl-benzene atmosphere (Fig. 2, left). EUV exposure in different atmospheres was used for the in-situ cleaning of the contaminated mirrors (Fig. 2, right). The same Mo/Si multilayer mirrors were exposed to synchrotron radiation in high-water environmental conditions with high-intensity EUV up to  $8 \times 10^3 \text{ mW}/\text{cm}^2$  (Fig. 3).

1 EUV-Bestrahlung von vier Mo/Si-Multischichtspiegeln im ETS.

1 EUV exposure of four Mo/Si multilayers at ETS.

2 Kontaminierte (links) und gereinigte (rechts) Mo/Si-Spiegel mit Ru und TiO<sub>2</sub>-Capping-Schichten.

2 Contaminated (left) and cleaned (right) Ru- and TiO<sub>2</sub>-capped Mo/Si mirrors.



2

Dabei zeigte sich bei Mo/Si-Spiegeln mit Ru-Capping-Schicht und einer anfänglichen Reflexion von 67,2 % ein Reflexionsverlust von ~ 6,0 % nach einer Bestrahlung mit einer Dosis von  $1,5 \times 10^5$  J/cm<sup>2</sup>. Hingegen zeigten Spiegel mit Nb<sub>2</sub>O<sub>5</sub>- und TiO<sub>2</sub>-Capping-Schichten und einer anfänglichen Reflexion von 67,0 % keinen Reflexionsverlust.

Die Autoren bedanken sich bei der Intel Corporation für die finanzielle Unterstützung der FuE Arbeiten und persönlich bei Roman Caudillo und Gilroy Vandentop für fruchtbare Diskussionen.

It was shown that Ru-capped Mo/Si mirrors with an initial reflectivity of 67.2 % presented a reflectivity loss of ~ 6.0 % after an irradiation dose of  $1.5 \times 10^5$  J/cm<sup>2</sup>. No reflectivity loss was found for Nb<sub>2</sub>O<sub>5</sub> and TiO<sub>2</sub> capped Mo/Si mirrors with initial peak reflectivity of 67.0 %.

The authors acknowledge the financial support for this R&D work by Intel Corporation and personally thank Roman Caudillo and Gilroy Vandentop for fruitful discussions.

## AUTHORS

*Sergiy Yulin*

*Mark Schürmann*

*Viatcheslav Nesterenko*

*Max C. Schürmann<sup>1</sup>*

*Boris Tkachenko<sup>1</sup>*

*Mitsunari Shuichi<sup>2</sup>*

*Torsten Feigl*

*Norbert Kaiser*

<sup>1</sup> *Xtreme technologies GmbH,  
Deutschland*

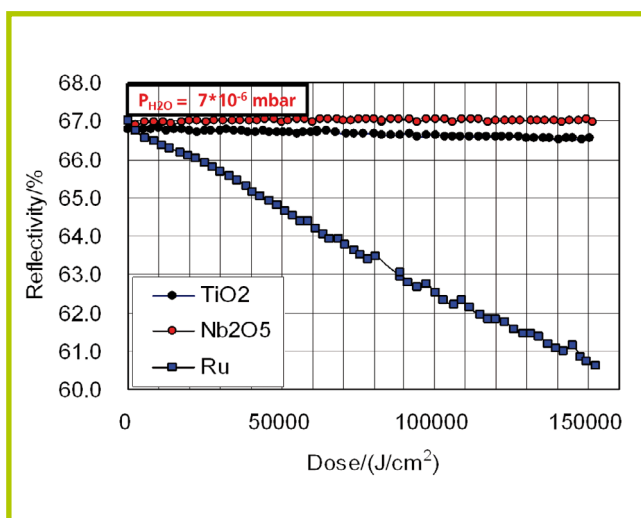
<sup>2</sup> *Nikon Corporation, Japan*

## CONTACT

*Dr. Sergiy Yulin*

*Phone +49 3641 807-241*

*sergiy.yulin@iof.fraunhofer.de*



3 *Reflexion von Mo/Si-Multilayerspiegeln mit verschiedenen Capping-Schichten unter Synchrotronstrahlung. | Reflectivity evolution of differently capped Mo/Si mirrors under synchrotron exposure.*