



Sergiy Yulin



Nicolas Benoit



Torsten Feigl



Norbert Kaiser



Shannon Hill <sup>1</sup>



Tom Lucatorto <sup>1</sup>



Eric Gullikson <sup>2</sup>

Manish Chandhok <sup>3</sup>, Ming Fang <sup>3</sup>, Melissa Shell <sup>3</sup>

<sup>1</sup> National Institute of Standards and Technology, Gaithersburg, MD, USA

<sup>2</sup> Lawrence Berkeley National Laboratory, Berkeley, CA, USA

<sup>3</sup> Intel Corporation, Hillsboro, OR, USA

Die Lebensdauer Mo/Si beschichteter Abbildungsoptiken stellt eine der größten Herausforderungen der Produktionseinführung der Extrem-Ultraviolett-Lithographie (EUVL) dar. Problematisch bei der Verwendung von Mo/Si Multilayer-Optiken ist die Verringerung der Reflexion auf Grund von Kohlenstoffkontaminationen und Oxidation der Silizium-Deckschicht bei intensiver EUV-Bestrahlung. Hierbei ist die Degradation der Optiken vor allem von den Umgebungsparametern, wie dem Wasser- und Kohlenwasserstoff-Partialdruck, abhängig (Abb. 1). In der Vergangenheit wurden zahlreiche Methoden zum Schutz der Optiken untersucht, zum Beispiel der Einsatz von Ruthenium- und Kohlenstoff-Deckschichten. Obwohl die Lebensdauer von EUV-Optiken hiermit deutlich erhöht werden konnte, genügen sie bisher noch immer nicht den Anforderungen an kommerzielle EUVL-Tools.

Am Fraunhofer IOF Jena wurden Untersuchungen zu Titandioxid (TiO<sub>2</sub>) und Rutheniumdioxid (RuO<sub>2</sub>) durchgeführt um deren Potential als Deckschichtmaterialien für EUVL-Optiken zu evaluieren. Die Optimierung des Schichtdesigns sowie der Herstellungsparameter der Mo/Si Systeme erfolgte in Bezug

auf Maximalreflexion sowie Strahlungsstabilität. Die Synchrotronbestrahlung am National Institute of Standards and Technology (NIST) mit einer mittleren Leistungsdichte von ~ 5 mW/mm<sup>2</sup> unter verschiedenen Vakuumbedingungen wurde zur Optimierung der Deckschichten genutzt.

Mo/Si Multilayerspiegel mit optimierter TiO<sub>2</sub>-Deckschicht mit einer EUV-Reflexivität von 66,9 % zeigen einen Reflexionsverlust von 0,6 % nach einer Strahlungs dosis von 760 J/mm<sup>2</sup> bei einem Wasserpartialdruck von 3 x 10<sup>-5</sup> Pa (Abb. 2, links). Der Reflexionsverlust kann durch partielle Oxidation der Si-Unterschicht erklärt werden. Dahingegen konnte bei Mo/Si Multilayerspiegeln mit optimierter RuO<sub>2</sub>-Deckschicht und einer ursprünglichen EUV-Reflexivität von 65,7 % keinerlei Reflexionsverlust nach Synchrotronbestrahlung nachgewiesen werden (Abb. 2, rechts).

Die Kombination von hoher Strahlungsstabilität und optischen Eigenschaften von Mo/Si Schichtsystemen mit TiO<sub>2</sub>- und RuO<sub>2</sub>-Deckschichten unterstreicht ihre potentielle Nutzung für EUVL-Optiken.

Wir danken der Intel Corporation für die finanzielle Unterstützung dieser Arbeiten.

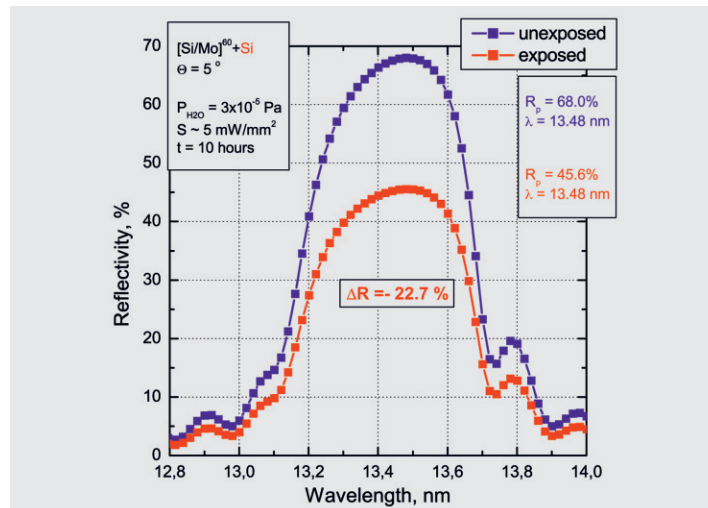


Abb. 1: Reflexion von Mo/Si Multilayerspiegeln mit Si-Deckschicht nach 10-stündiger Synchrotronbestrahlung (Messung: ALS, Lawrence Berkeley National Laboratory).

Fig. 1: Reflectivity evolution of Si capped Mo/Si multilayer mirrors after 10 hours synchrotron irradiation.

# Capping layers for EUV lithography optics

The lifetime of Mo/Si multilayer-coated projection optics is one of the outstanding issues on the road of the commercialization of extreme-ultra-violet lithography (EUVL). A serious problem of Mo/Si multilayers capped by silicon is the considerable reflectivity degradation due to carbonization and oxidation of the silicon surface layer under exposure by EUV radiation. The instability of Mo/Si multilayers becomes especially critical at elevated pressures of water vapor and hydrocarbons (Fig. 1), thus noticeably limiting the application of Si capped Mo/Si multilayers. A number of solutions have been recommended in the past, including the use of different protective capping layers (ruthenium and carbon). As a result, the lifetime of EUV multilayer

coatings was noticeably improved, although it still does not meet stringent commercial tool specifications. This study was focused on titanium dioxide (TiO<sub>2</sub>) and ruthenium dioxide (RuO<sub>2</sub>) as promising capping layer materials for EUVL multilayer coatings. The multilayer designs as well as the deposition parameters of the Mo/Si system with dioxide capping layers were optimized in terms of maximum peak reflectivity at a wavelength of 13.5 nm and long-term radiation stability. The synchrotron irradiation at the National Institute of Standards and Technology with an average power density of ~ 5 mW/mm<sup>2</sup> and different vacuum conditions was used for the capping layer optimization.

Optimized TiO<sub>2</sub> capped Mo/Si multilayer mirrors with an initial reflectivity of 66.9 % presented a reflectivity drop of 0.6 % after an irradiation dose of 760 J/mm<sup>2</sup> under 3 x 10<sup>-5</sup> Pa water pressure (Fig. 2, left). The reflectivity drop was explained by partial oxidation of the silicon sub-layer. No reflectivity loss after a similar irradiation dose was found for RuO<sub>2</sub> capped Mo/Si multilayer mirrors with an initial peak reflectivity of 65.7 % (Fig. 2, right). The combination of high radiation stability and good optical properties of Mo/Si multilayer mirrors capped by TiO<sub>2</sub> and RuO<sub>2</sub> underlines their potential use as reflective coatings in EUVL optics.

We would like to thank the Intel Corporation for their financial support.

Abb. 2: Reflexion von Mo/Si Multilayerspiegeln mit TiO<sub>2</sub>-Deckschicht (links) und RuO<sub>2</sub>-Deckschicht (rechts) nach 40-stündiger Synchrotronbestrahlung (Messung: ALS, Lawrence Berkeley National Laboratory).

Fig. 2: Reflectivity evolution of TiO<sub>2</sub> (left) and RuO<sub>2</sub> (right) capped Mo/Si multilayer mirrors after ~ 40 hours synchrotron irradiation.

