

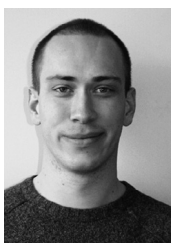
Hochtemperatur LPP Kollektorspiegel für die EUV-Lithographie



Torsten Feigl



Sergiy Yulin



Nicolas Benoit



Marko Perske



Hagen Pauer



Norbert Böwering¹



Oleh Khodykin¹



Igor V. Fomenkov¹



Norbert Kaiser

David Brandt¹

¹ Cymer Inc., 17075 Thornmint Ct., San Diego, CA 92127, United States

Die Ausgangsleistung und Lebensdauer von EUV-Quellen sowie die Lebensdauer von Kollektorspiegeln sind wesentliche Herausforderungen bei der industriellen Einführung der EUV-Lithographie. Um den industriellen Anforderungen an EUV-Kollektorspiegel gerecht zu werden, wurden am Fraunhofer IOF Jena in den vergangenen Jahren sowohl Reflexion als auch thermische Langzeitstabilität grundlegend verbessert /1/.

Elliptische Kollektorsubstrate verschiedener Materialien wie Siliziumkarbid und monokristallines Silizium mit einem Außendurchmesser von ca. 320 mm (entspricht einem Raumwinkel von 1,6 sr) wurden mit lateralen Hochtemperatur-Gradientensystemen beschichtet (Abb. 1). Design, Anforderungen, Geometrie sowie optische und opto-mechanische Spezifikationen sind in /2/ zusammengefasst. Die barriereoptimierten Mo/Si-Multilayerbeschichtungen sind für eine maximale Reflexion bei 13,5 nm und eine Arbeitstemperatur über 400 °C optimiert. Die EUV-Reflexion der Hochtemperatur-LPP-Kollektorspiegel wurde nach Tempern bei 400 °C für verschiedene Radian entlang vier orthogonaler Linien auf der Kollektoroberfläche in einem Wellenlängenbereich von 12,5 nm bis 14,5 nm

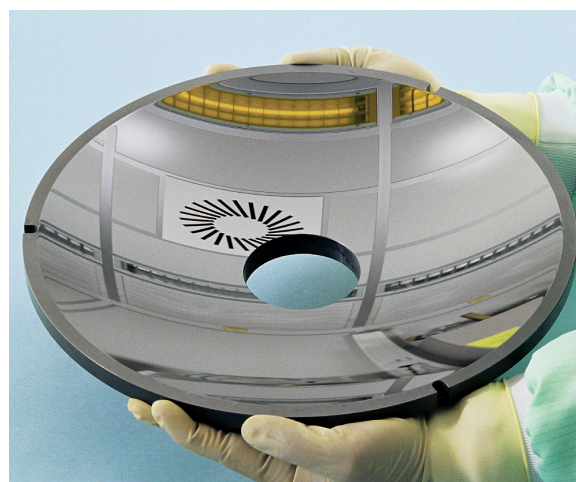
gemessen (Abb. 2). Hierbei erfolgten die Messungen jeweils unter den aus optischem Spiegeldesign und Fokus-Spiegel-Abstand berechneten Einfallswinkeln. Die gemessene Peakreflexion des Kollektorspiegels ist $R_p \approx 57\%$. Die thermische Stabilität der Beschichtung wurde während zahlreicher Temperzyklen bis 600 °C nachgewiesen (Abb. 3). Nach Langzeitnutzung der Kollektorspiegel im Quellenmodul konnte die ursprüngliche EUV-Reflexion durch ex-situ Reinigungsmethoden wiederhergestellt werden.

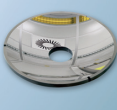
Die erfolgreiche Realisierung von Hochtemperatur-LPP-Kollektorspiegeln stellt einen wesentlichen Schritt für die industrielle Umsetzung des patentierten Hochtemperaturkollektorkonzepts dar und unterstreicht das Potential thermisch stabiler EUV-Multilayer für die EUV-Volumenproduktion.

Das Fraunhofer IOF Jena dankt Cymer Inc. für die finanzielle Unterstützung der FuE-Arbeiten.

Abb. 1:
Hochtemperatur-LPP-Kollektorspiegel.

Fig. 1:
High-temperature LPP collector mirror.





The source output power and its lifetime, including the collector optics lifetime, are key issues for EUV lithography systems. In order to meet the requirements for the EUV collector mirror both the reflectivity and the long-term thermal stability of its multilayer coating have been enhanced considerably during recent development efforts at Fraunhofer IOF Jena /1/.

Sub-aperture ellipsoidal collector substrates of different substrate materials such as silicon carbide and monocrystalline silicon with outer diameters of ≈ 320 mm, representing a solid collection angle of 1.6 sr, were coated with laterally graded high-temperature multilayers (Fig. 1).

Design considerations, requirements, collection geometry as well as optical and opto-mechanical design are summarized in /2/. The interface-engineered Mo/Si multilayer coatings were optimized in terms of high peak reflectivity at 13.5 nm and at working

temperatures above 400 °C. The EUV reflectivity of high-temperature mirrors after annealing at 400 °C was measured with s-polarized light for a series of points along four orthogonal lines over the collector CA within a wavelength range from 12.5 nm to 14.5 nm (Fig. 2). The respective angle of incidence was adjusted for each measurement point as calculated according to the optical mirror design and the distance from the focus to the mirror surface. The measured peak reflectance is up to $R_p \approx 57\%$. No degradation of the optical properties of these multilayer coatings occurred during both long-term heating tests and multiple annealing cycles (Fig. 3). After long-term operation in the source module the initial EUV reflectance of the multilayer-coated collector mirror could be recovered using ex-situ surface cleaning methods.

The successful realization of high-temperature sub-aperture collector mirrors represents a major step towards the implementation of the heated collector concept and illustrates the great potential of high-temperature-stable EUV multilayer coatings for HVM production.

We would like to thank Cymer Inc. for their financial support.

References:

- /1/ Feigl, T.; Yulin, S.; Benoit, N.; Kaiser, N.; Böwering, N. R.; Khodykin, O. V.; Brandt, D.: High-temperature LPP collector mirror, Proceedings of SPIE Vol. 6151 (2006), ISBN 0-8194-6194-6.
- /2/ Böwering, N. R.; Ershov, A. I.; Marx, W. F.; Khodykin, O. V.; Hansson, B. A. M.; Vargas, E. L.; Chavez, J. A.; Fomenkov, I. V.; Myers, D. W.; Brandt, D. C.: EUV Source Collector, Proceedings of SPIE Vol. 6151 (2006), ISBN 0-8194-6194-6.

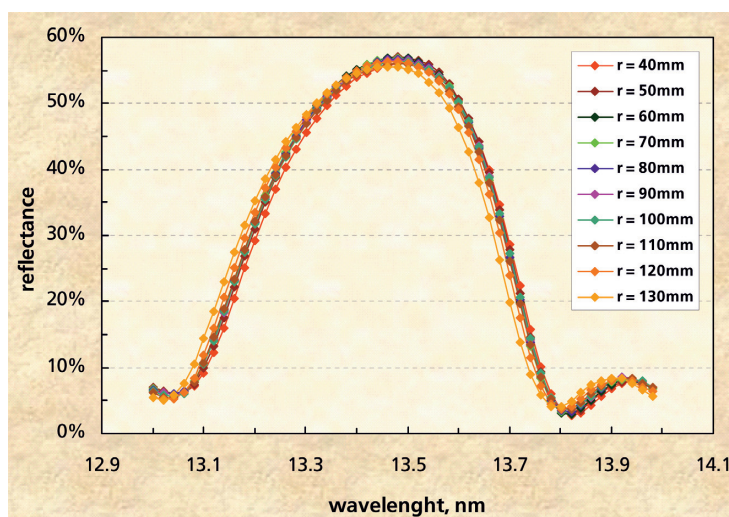


Abb. 2: Reflexionskurven bei unterschiedlichen Radien des Kollektorspiegels entlang einer Geraden. Messungen: PTB Berlin.

Fig. 2: Reflectivity curves at different collector mirror radii along one line within clear aperture. Measurements: PTB Berlin.

Abb. 3: TEM eines Hochtemperatur-Multilayers nach der Beschichtung (links) und nach Tempern bei 600 °C für 100 h (rechts). Messungen: Universität Ulm.

Fig. 3: TEM of high-temperature multilayer mirror as deposited (left) and after annealing at 600 °C for 100 hours (right). Measurements: University of Ulm.

