



KOLLEKTORSPIEGEL FÜR DIE EUV-LITHOGRAPHIE

COLLECTOR MIRRORS FOR EUV LITHOGRAPHY

Seit den frühen 1970er Jahren folgt die Chipherstellung der Halbleiterindustrie dem so genannten Mooreschen Gesetz: der Verdoppelung der Zahl der Transistoren pro Chip alle zwei Jahre. Nach allgemeinem Konsens führender Halbleiterhersteller wird sich die Miniaturisierung integrierter Schaltkreise auch in den kommenden Jahren fortsetzen. So gilt die EUV-Lithographie mit einer extrem kurzen Wellenlänge von nur 13,5 nm als das bisher aussichtsreichste Herstellungsverfahren für zukünftige Generationen von Computerchips mit Strukturweiten weit unter 22 nm.

Die nutzbare Leistung einer Hochleistungs-EUV-Quelle bei 13,5 nm sowie die Lebenszeit von Quelle und Kollektroptik stellen gegenwärtig eine der größten Herausforderungen beim Übergang der EUV-Lithographie vom Entwicklungsstatus in die Produktion dar /1/. Im Auftrag der Cymer Inc. wurden am Fraunhofer IOF Technologien zur definierten Beschichtung hochreflektierender lateraler Gradientenschichtsysteme auf stark gekrümmten Kollektorsubstraten sowie ein Verfahren zur Charakterisierung der Hochfrequenzrauheit von EUV-Substraten entwickelt /2/.

Since the early 1970s the semiconductor industry follows what is called Moore's law: the number of transistors per area should double every two years. According to general consensus of leading chipmakers the miniaturization of integrated circuits will continue during the next years accordingly. Owing to its extremely short wavelength of only 13.5 nm EUV lithography is viewed as the most promising device manufacturing technology for computer chips with critical dimensions far below 22 nm.

The usable power of high-power EUV light sources at 13.5 nm and also the lifetime of source and collector optics are currently considered to be the largest challenges encountered during the transition of EUV lithography from development to production /1/. Upon a contract from Cymer Inc. Fraunhofer IOF Jena has developed technologies for defined coating of highly reflective multilayer systems with lateral gradients on strongly curved collector substrates as well as a method for characterizing the high spatial frequency roughness of EUV substrates /2/.

1 *Einrichtung eines Kollektorsubstrats zur Streulichtmessung.*

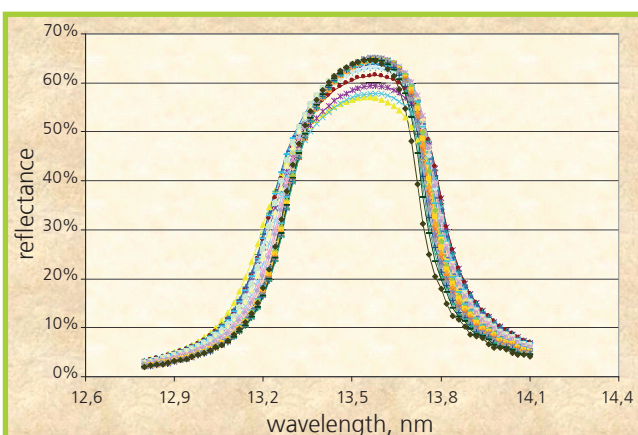
1 *Adjustment of a collector substrate for light scattering measurement.*

Zur Herstellung hochreflektierender EUV-Spiegel sind Substrate mit hoher Oberflächenqualität (rms-Rauheiten $< 0,2 \text{ nm}$) erforderlich. Dies bei gleichzeitig sehr großer und komplexer Oberflächengeometrie zu realisieren stellt eine enorme technologische Herausforderung dar und macht eine genaue Prüfung der Substrate vor der Beschichtung hinsichtlich anwendungsrelevanter Nanorauheit und Homogenität unabdingbar.

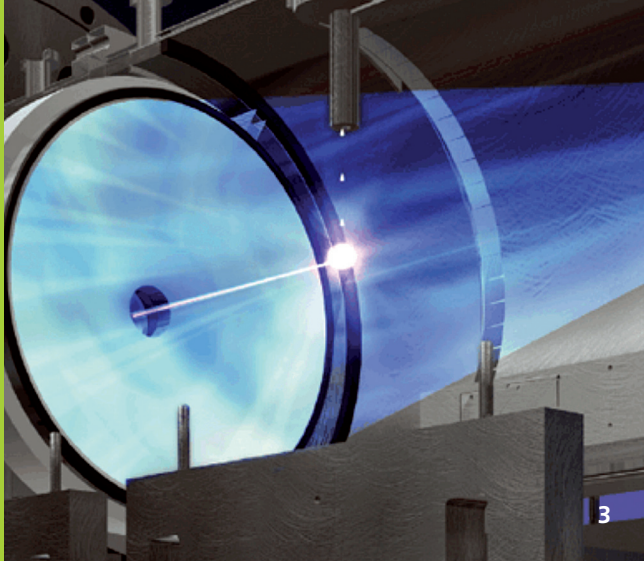
Am Fraunhofer IOF wird dazu ein neuartiges Verfahren eingesetzt, das auf der Analyse von gestreutem Licht basiert. Mit dem am IOF entwickelten System ALBATROSS werden dazu winkelaufgelöste Streulichtmessungen bei einer Wellenlänge von 442 nm (HeCd-Laser) durchgeführt. Das Messsystem ist selbst zur Untersuchung komplexer Probengeometrien geeignet und weist dabei gleichzeitig eine enorme Sensitivität bis hin zu Oberflächenrauheiten unter $0,1 \text{ nm}$ auf [3]. Aus den Streulichtdaten werden anschließend

Substrates with very high surface quality (rms roughness $< 0.2 \text{ nm}$) are required for the manufacturing of highly reflective EUV mirrors. To realize this with at the same time very large and complex surface geometries poses an enormous technological challenge and requires an accurate analysis of the substrates prior to coating with respect to relevant nano-roughness and homogeneity.

At Fraunhofer IOF a novel method is being used that is based on the analysis of light scattering. Angle-resolved measurements of scattered light at a wavelength of 442 nm (HeCd-laser) are carried out with the system ALBATROSS developed at IOF. The measurement system is suitable even for the investigation of complex sample geometries and has at the same time an extremely high sensitivity up to a surface roughness level of below 0.1 nm [3]. Subsequently the power spectral density (PSD) functions of the surface are calculated



2 Reflexionskurven bei unterschiedlichen Radien des Kollektorspiegels entlang einer Geraden. Messungen: PTB Berlin. / Reflectivity curves of the collector mirror along a straight line at different radii. Measurements: PTB Berlin.



Leistungsspektraldichtefunktionen (PSD) der Oberfläche durch Anwendung von Vektorstreuungstheorien berechnet. Durch Analyse dieser Rauheitsspektren und Ausnutzung der fraktalen Oberflächenstruktur kann die Rauheit bis in den für die Anwendung bei 13,5 nm relevanten Ortsfrequenzbereich ermittelt werden. Das inzwischen routinemäßig eingesetzte Verfahren (Abb. 1) ermöglicht somit eine schnelle und genaue Prüfung der Oberflächenqualität der Substrate vor der Beschichtung sowie quantitative Vorhersagen der erreichbaren optischen Eigenschaften bei der Anwendungswellenlänge /4/.

Besonderheit bei der Beschichtung der 5,5 sr LPP Kollektorspiegel für das NXE:3100 EUV Tool ist die extreme Variation des Einfallswinkels auf der Spiegeloberfläche mit dem Spiegelradius. Dies erfordert die Realisierung eines lateralen Schichtdickegradienten, wobei an jedem Ort der Spiegeloberfläche Schichtdickegenauigkeiten von weniger als 0,015 nm eingehalten werden müssen. Das EUV-Schichtsystem reflektiert auf einem Spiegelradius von 50 bis 230 mm ca. 64 bis 65 % und zwischen 240 bis 320 mm ca. 57 bis 64 % bei einer Wellenlänge von $(13,50 \pm 0,02)$ nm (Abb. 2). Der 5,5 sr Kollektorspiegel ist mit einem Durchmesser von über 660 mm, einer Pfeilhöhe von über 150 mm sowie einer Masse von ca. 50 kg der weltweit größte EUV-Spiegel, der bisher für die EUV-Lithographie hergestellt und mit einem Multilayer beschichtet wurde.

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

from the light scattering data by application of vector scattering theory. By analysis of these roughness spectra and by use of the fractal surface structure the roughness can be determined for the spatial frequency range that is relevant for the application at 13.5 nm. The method that is now routinely being used (see Fig. 1) thus permits a fast and accurate measure of the surface quality of the substrates prior to coating and also enables quantitative predictions of the optical properties that can be reached at the application wavelength /4/.

A characteristic feature of the coating of the 5.5 sr LPP collector mirrors for the NXE:3100 EUV tool is the extreme variation of the incidence angle on the mirror as a function of mirror radius. This requires the realization of a lateral layer thickness gradient where for each location on the mirror surface a layer thickness accuracy of less than 0.015 nanometers has to be maintained. The EUV multilayer system reflects 64 to 65 % for a mirror radius of 50 to 230 mm and 57 to 64 % between 240 to 320 mm at a wavelength of (13.50 ± 0.02) nm (Fig. 2). The 5.5 sr collector mirror with its diameter of more than 660 mm, its sag of more than 150 mm, and its mass of about 50 kg is the largest EUV mirror worldwide that was manufactured for EUV lithography and coated with a multilayer to date.

Fraunhofer IOF Jena gratefully acknowledges financial support by Cymer Inc. for research and development projects.

3 EUV-Quelle: Laserproduziertes Plasma (LPP), erzeugt mit einem CO₂ Laser auf ein Zinn-Tröpfchentarget. © Cymer, Inc.

3 EUV source: laser-produced plasma (LPP) generated by a CO₂ laser on a tin droplet target. © Cymer, Inc.

Literatur/References

/1/ Böwering, N. R.; Ershov, A.; 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.

/2/ Feigl, T.; Yulin, S.; Benoit, N.; Kaiser, N.; Böwering, N. R.; Ershov, A. I.; Khodykin, O. V.; Viatella, J. W.; Bruzzone, K. A.; Fomenkov, I. V.; Myers, D. W.: High-temperature LPP collector mirror. Proceedings of SPIE Vol. 6151 (2006), ISBN 0-8194-6194-6.

/3/ Schröder S., Herffurth T., Duparré A.: Finish assessment of complex surfaces by advanced light scattering techniques. SPIE Proc. Vol. 7102 (2008) Art. 71020F.

/4/ Schröder S., Feigl T., Duparré A., Tünnermann A.: EUV reflectance and scattering of Mo/Si multilayers on differently polished substrates. Optics Express. Vol. 15. No. 21 (2007). S. 13997-14012.

AUTHORS

Torsten Feigl

Marco Perske

Hagen Pauer

Sergiy Yulin

Sven Schröder

Marcus Trost

Angela Duparré

Norbert Kaiser

Norbert Böwering¹

Oleh Khodykin¹

Igor V. Fomenkov¹

David Brandt¹

¹ *Cymer Inc., San Diego,
United States*

CONTACT

Dr. Torsten Feigl

Phone +49 3641 807 240

torsten.feigl@iof.fraunhofer.de