



Gerhard Kalkowski



Stefan Risse



Roxann Engelstad¹



Pradeep Vukkadala¹



Sandra Müller



Jacob Zeuske¹

¹ Computational Mechanics Center, University of Wisconsin, Madison, WI (USA)

Für die lithographische Strukturierung von Halbleitern im 45 nm Bereich ist die Immersions-Lithographie mit einer Wellenlänge von 193 nm inzwischen Stand der Technik. Als Nachfolgetechnologie zur Fertigung noch wesentlich kleinerer Strukturen (22 nm und darunter) gilt die Extrem-Ultraviolett-Lithographie (EUVL) mit einer Wellenlänge von 13 nm.

Der nicht-telezentrische Strahlengang auf der Belichtungsmaske erfordert extreme Ebenheit. Entsprechend anspruchsvoll sind die Spezifikationen für den elektrostatischen Chuck, welcher die Maske während der Belichtung in Position hält. So muss seine Ebenheit über die »Quality Area« von (142 mm)² besser als 50 nm P-V sein und die Kraft pro Flächeneinheit ≥ 15 kPa, um selbst verbogene Masken einebnen zu können /1/. Als Werkstoffe für Chuck und Maske kommen nur Materialien mit thermischer Ausdehnung $\leq 10^{-8}/K$ in Frage.

Der Prototyp eines EUV-Masken-Chucks des Fraunhofer IOF konnte kürzlich in Zusammenarbeit mit der Gruppe von Prof. R. L. Engelstad der Universität von Wisconsin (USA) erprobt werden. Die amerikanischen Kollegen verfügen über einen Versuchsstand, bei dem die Ebenheit der Maske während des Chuckens im Vakuum interferometrisch verfolgt

werden kann. Um keine Partikel zu erzeugen, wird die Belichtungsmaske durch eine Lifteinrichtung vorsichtig auf dem kreisrunden Chuck (Abb.1) abgelegt, ehe sie über Spannungen von mehreren kV auf der Chuckoberfläche »festgeklemmt« wird.

Die Wirkung der Chuckkräfte auf die Ebenheit einer typischen Mo/Si-beschichteten EUV-Maske ist in Abb. 2 und Abb. 3 dargestellt. Abbildung 2 zeigt den Ausgangszustand: Durch Schichtspannungen ist das 6,35 mm dicke Substrat um weit über 1 μ m durchgebogen. Abbildung 3 zeigt den Endzustand bei maximaler Chuckkraft. Die Maske wurde bis auf ca. 130 nm eingeebnet. Das verwendete 150 mm Interferometer begrenzt den sichtbaren Bereich in der Diagonalen. Da die Dickenvariation der Maske etwa 160 nm beträgt und die Chuck-Ebenheit über den dargestellten Bereich etwa 47 nm, lassen die Messwerte den Schluss zu, dass die Maske nahezu ohne Spalt anliegt und – bis auf die eigene Dickenvariation – praktisch die Form der Unterlage annimmt.

Die vorliegenden Messergebnisse, die auf einer SPIE-Tagung kürzlich vorgestellt wurden /2/, zeigen die hervorragende Performance des Fraunhofer IOF-Chucks.

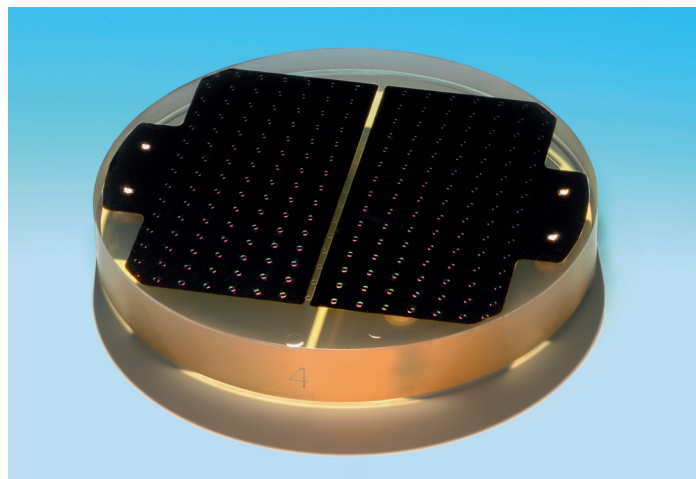
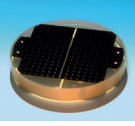


Abb. 1: EUV-Chuck und Lifteinrichtung.

Fig. 1: EUV chuck and lifter tool.



For optical lithography at the 45 nm node, ArF lasers with a wavelength of 193 nm and water-based immersion liquids have set the standard. For the production of much smaller structures (22 nm and below), Extreme Ultraviolet Lithography (EUVL) at a wavelength of 13 nm is considered the successor technology.

Due to non-telecentric illumination conditions on the reticle, extreme flatness of the mask surface is mandatory. The specifications for the electrostatic chuck, which holds the reticle in place during exposure, are equally demanding. A chuck flatness < 50 nm P-V is required across the "Quality Area" of $(142 \text{ mm})^2$ and the force per area unit should not be less than 15 kPa to achieve sufficient mask flattening, if necessary /1/. For mask and chuck, only low thermal expansion materials with $\text{CTE} \leq 10^{-8} / \text{K}$ are allowed.

An EUVL chuck prototype has been manufactured at Fraunhofer IOF and was recently tested together with the group of Prof. R. L. Engelstad at the University of Wisconsin (USA). Our American colleagues have an interferometry test stand available that makes it possible to monitor mask flatness during the chucking process. To avoid particle generation, a lifter tool carefully positions the square mask on the circular chuck (Fig. 1), before chuck voltages of several kV clamp the mask to the chuck.

The influence of clamping on the mask flatness can be inferred from Figs. 2 and 3. The initial flatness of a typical EUVL mask with a thickness of 6.35 mm is seen in Fig. 2. Due to stresses from the Mo/Si-multilayer coating, the originally flat substrate is bowed by more than 1 μm . Figure 3 shows the final out-of-plane distortion after chucking at maximum force. A flatness of about 130 nm is obtained.

Note that visibility is limited in the mask diagonal due to a 150 mm interferometric aperture. Since the chuck flatness amounts to approximately 47 nm across the visible range of Fig. 3 and the mask thickness variation is ~ 160 nm, we conclude that the mask has been chucked with a gap close to zero and (except for its own thickness profile) reflects the chuck surface.

These results, which were presented at an SPIE conference recently /2/, clearly demonstrate the high performance of the Fraunhofer IOF chuck.

References:

- /1/ International Technology Roadmap for Semiconductors (ITRS), <http://public.itrs.net>.
- /2/ Zeuske, J. R. et al: EUVL Mask Clamping with a Low-Thermal Expansion Material Chuck, SPIE Photomask Technology, 6–10 October 2008, Monterey (CA/USA).

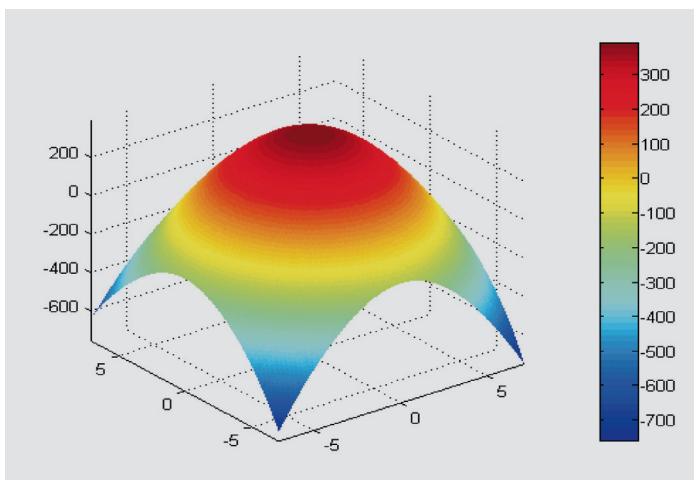


Abb. 2: EUV-Maske freistehend, Ebenheit ca. 1150 nm.

Fig. 2: EUV mask freestanding, flatness about 1150 nm.

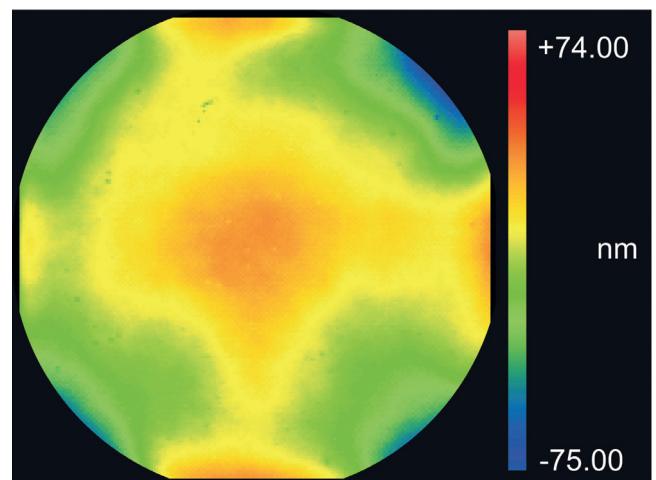


Abb. 3: EUV-Maske geschuckt, Ebenheit ca. 130 nm.

Fig. 3: EUV mask after chucking, flatness about 130 nm.