



Gerhard Kalkowski

Motivation

Die fortschreitende Miniaturisierung in der Halbleiterelektronik hat dazu geführt, dass Lithographie-Anlagen heute bereits im tiefen ultravioletten Strahlungsbereich arbeiten und Licht mit einer Wellenlänge von 193 nm verwenden. Geräte der nächsten Lithographie-Generation werden voraussichtlich weiche Röntgenstrahlung im EUV-Wellenlängenbereich (extreme ultraviolett ca. 13 nm) einsetzen, wobei Strahlführung und Belichtung im Vakuum erfolgen müssen. Im Vorfeld dieser Entwicklung hat sich die Röntgenfluoreszenz-Spektroskopie an Synchrotron-Strahlungsquellen als wichtiges Verfahren zur Charakterisierung von Wafer-Materialien entwickelt /1/. Für all diese Anwendungen ist eine stabile, hochgenaue Positionierung von Si-Wafern in Vakuumumgebung erforderlich und die erzielbare Ebenheit ist von großem Einfluss auf das Ergebnis. Geeignete Vorrichtungen für die Waferhandhabung an Luft und im Vakuum werden seit einigen Jahren am IOF entwickelt.

Im Vakuum erfolgt das temporäre Fixieren von Halbleiter-Wafern – ebenso wie damit verbundene Aufnahme- und Transport-Vorgänge – am besten mithilfe elektrostatischer Greifvorrichtungen. Durch Erzeugung eines elektrischen Feldes zwischen dem Wafer und einer oder mehrerer Elektroden, die in der Wafer-Unterlage integriert sind, können anziehende Kräfte auf den Wafer ausgeübt werden. Elektrostatische Chucks vermeiden Kratzer und Abrieb, wie sie für mechanische Greifer typisch sind. Vor allem aber erlauben sie es, durchgebogene Wafer einzuebren und damit auch bei geringer Schärfentiefe gute Belichtungsergebnisse zu erzielen. Nicht zuletzt liefern sie einen großflächigen und somit wohldefinierten Wärmekontakt zur Unterlage.

Entwurf und Simulation

Für eine Synchrotron-Anwendung wurde ein kompakter 300 mm-Chuck mit einem integrierten Liftmechanismus entwickelt, der die Ablage des Wafers auf dem Chuck bzw. das Ausheben von der Chuckoberfläche vornimmt. Für die Verwendung im Ultra-Hoch-Vakuum (UHV) ist eine sehr geringe Ausgasrate erforderlich und der Chuck muss die typische Ausheizprozedur bei 100 °C schadlos überstehen. Die spezifische Anwendung erforderte darüber hinaus, dass 8 und 12 Zoll-Si-Wafer sowohl in horizontaler wie vertikaler Orientierung sicher gehalten werden und die Vorrichtung ein Gesamtgewicht von 5 kg nicht überschreitet. Um eine hohe laterale Auflösung in der Anwendung zu gewährleisten, war eine Ebenheit der Chuckoberfläche von 5 µm erforderlich und eine Parallelität der Montagefläche des Chucks zu seiner Oberfläche von 100 µm.

Die genannten Zielstellungen wurden mit einem modularen Aufbau aus drei Komponenten erreicht, die anwendungsbezogen kombiniert und bei Bedarf weiter optimiert werden können. Sie umfassen das eigentliche elektrostatische Halteelement, eine Montageplatte als universelle mechanische Schnittstelle und einen motorbetriebenen Aushebe-Mechanismus für den Wafer.

Um die beste Lösung zu ermitteln, wurden thermo-mechanische Simulationsrechnungen zu verschiedenen Konstruktionsansätzen und Materialien vorgenommen. Dazu wurde die kombinierte Einheit von Halteelement und Montageplatte in einem FEM-Modell erfasst und hinsichtlich mechanischer Spannungen und Deformationen analysiert.

Electrostatic chuck with integrated wafer lift

Gerhard Kalkowski, Gerd Harnisch, Erik Beckert, Thomas Peschel

Motivation

Recent efforts to miniaturize semiconductor electronic devices have already progressed to the development of lithography tools that work in the deep UV-range at a wavelength of 193 nm. Next generation lithography equipment will probably work in the EUV (extreme ultra violet) range and utilize soft X-rays at wavelengths of around 13 nm, necessitating beam shaping and exposure under vacuum. At synchrotron light sources, X-ray fluorescence spectroscopy is evolving as a powerful method for the characterization of wafer materials [1]. For all these applications, the stable positioning of Si-wafers in a high vacuum environment is required and attainable flatness strongly influences the outcome. Adequate clamping fixtures for wafer handling at high precision in air and under vacuum have been being developed at the IOF for several years.

Under vacuum conditions, temporary fixture of wafers as well as picking and placing are best done with electrostatic clamps. By generating an electric field between the wafer and one or more metal electrodes inside the support, an attractive Coulomb force is exerted on the wafer. Electrostatic chucking avoids scratches and particle generation as is commonly encountered with mechanical clamps and, in particular, it enables flattening of slightly bowed wafers for accurate exposure under conditions of small depth of focus. Also, thermal contact of the wafer with the support is good because of the large contact area.

Design and Simulation

For a synchrotron application, a compact 300 mm electrostatic chuck with an integrated lift mechanism for soft wafer deposition onto and off the chuck has been developed. To enable operation at ultra-high-vacuum conditions, a very slow gas release rate is critical and repeated baking of the chuck at a temperature of about 100 °C must be possible. In addition, this specific application requires that wafers can be clamped appropriately for both horizontal and vertical chuck orientations and that weight is limited to less than 5 kg for the whole unit. Finally, to obtain sufficient lateral resolution, surface flatness of the chuck is tolerated to 5 µm and parallelism (mounting base versus chuck surface) to 100 µm.

These objectives have been met with a modular design that is based on an application specific assembly of three major components that can be further optimized separately: the actual electrostatic clamping element, a mounting plate for all mechanical interfacing and a motorized wafer lift mechanism.

Careful consideration of thermal expansion in design and materials selection was of central importance for the final solution. To this end the combined unit of clamping element and mounting plate was modeled and investigated with respect to stresses and deformations using FEM-analysis.



Gerd Harnisch



Erik Beckert



Thomas Peschel

Abb. 1 zeigt ein typisches FEM-Ergebnis dieser Simulationen. Durch Befestigung des Chuckelements an drei jeweils um 120 Grad versetzten Halteelementen auf einem Teilkreis von etwa 2/3 Radius wird die Durchbiegung der Chuckoberfläche sehr gering. Sie beträgt im horizontalen Schwerfeld weniger als 0,5 µm für das gewählte Material und die zugrunde gelegten Dimensionen. Ähnliche Rechnungen wurden für vertikale Orientierung und Temperaturen bis 100 °C vorgenommen, um auch die thermischen Spannungen aufgrund der unterschiedlichen Wärmedehnungen von Chuckelement und Montageplatte zu erfassen.

Realisierung

Im Verlauf der Entwicklung wurden mehrere Versuchsmuster aufgebaut und die Stabilität unter thermischer Wechselbelastung an kritischen Stellen überprüft. Die daraus schließlich entstandene 300 mm Baugruppe ist in Abb. 2 dargestellt. Das eigentliche Chuckelement weist drei symmetrisch angeordnete, integrierte Verbindungselemente zur Montageplatte auf und – jeweils dazwischen – Durchbrüche, an denen drei Stifte des Wafer-Liftmechanismus den Wafer abheben können. In Abb. 2 sind die Stifte teilweise ausgefahren sichtbar. Auf der Unterseite des Chuckelements ist die Montageplatte erkennbar, in deren Mitte die zylindrische, UHV-taugliche Antriebseinheit angeflanscht ist. Die rotatorische Bewegung eines Motors wird über einen Spindelmechanismus in eine axial gerichtete translatorische Bewegung umgesetzt und führt über das simultane Ausfahren der drei Stifte zu einer Aushebung des Wafers um etwa 10 mm. In den Aufbau sind mehrere Endschalter integriert, die einen zuverlässigen Betrieb unter Produktionsbedingungen sicherstellen. Der äußerst kompakte

Aufbau der gesamten Baugruppe in Verbindung mit einer Kabeltrommel gestattet einen „quasi-mobilen“ Einsatz mit großem Bewegungsradius.

Für das Halteelement wurde ein glas-keramisches Material mit hoher Haltekraft bei moderaten elektrischen Spannungen ausgewählt /2/, /3/. Abb. 3 zeigt einen Blick auf die Chuckoberfläche. Das elektrische Schaltungsprinzip basiert auf einer bipolaren Elektroden-Konfiguration mit zwei halbkreisförmigen Elektroden, die durch das transparente Dielektrikum hindurch deutlich zu erkennen sind.

Die bipolare Chuckausführung stellt die Haltefunktion für Halbleiter-Wafer sicher, ohne dass ein direkter elektrischer Kontakt zum Wafer benötigt wird. Damit ist kein „Kratz-Pin“ erforderlich und Abrieb und Partikelerzeugung beim Chuckvorgang werden auf ein Minimum reduziert. Deutlich zu erkennen sind in Abb. 3 auch die drei Stifte des Liftmechanismus als dunkle Zonen und die helleren Befestigungselemente des Chucks zur Montageplatte.

Die komplette Baugruppe wurde in waagerechter Orientierung mit einem 3-D-Koordinatenmessgerät an 19 Stellen auf Ebenheit im sub-µm-Bereich vermessen. Danach weist die Oberfläche eine Ebenheit von 2,2 µm auf und liegt innerhalb von 26 µm parallel zur Unterseite (Anflanschseite) der Montageplatte. Im Rahmen von elektrischen Tests wurde nachgewiesen, dass weniger als 500 V Haltespannung ausreichen, um Halbleiter-Wafer auch in vertikaler Orientierung sicher zu halten.

Literatur:

- /1/ Beckhoff, B.; Fliegau, R.; et al.: „Improvement of total reflection X-ray fluorescence analysis of low Z elements“, Spectrochimica Acta Part B, 56 (2001) 2073–2083.
- /2/ Kalkowski, G.; Risse, S.; Harnisch, G. and Guyenot, V.: „Electrostatic Chucks for Lithography Applications“, Microelectronic Engineering 57–58 (2001) 219–222.
- /3/ Kalkowski, G.; Kamm, F.-M.: www.sematech.org/resources/litho/meetings/euvl/20030223b/03_Fraunhofer_NEW_Electrostatic_Chucking.pdf

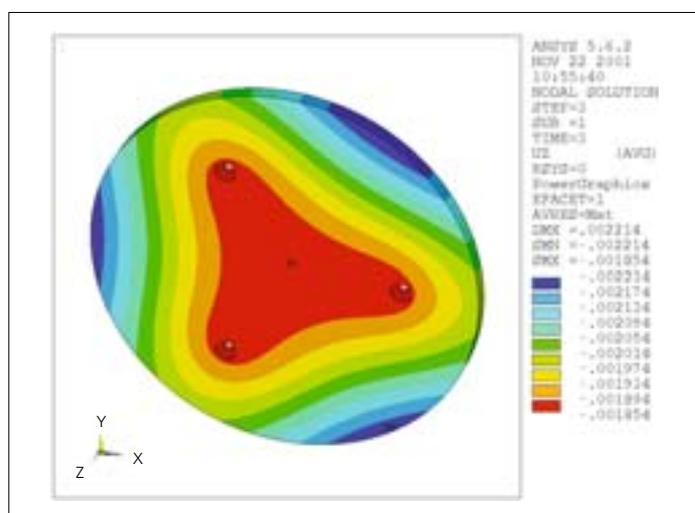


Abb. 1:
FEM-Ergebnisse zur Chuck-Durchbiegung (mm) unter Schwerkraft.

Fig. 1:
FEM-results for gravity deformation (mm) at horizontal orientation.

Fig. 1 displays a typical FEM-result from these simulations. With three support pins fixed at an angle of 120 deg to each other and spaced to delineate an inner radius which is approximately 2/3 that of the chuck radius, flatness of the chuck surface is found to deviate less than 0.5 μm under horizontal gravitational load for the materials and dimensions chosen. Similar calculations were performed with respect to vertical orientation and temperatures of up to 100 degrees Celsius to conceptualize stresses exerted by varied thermal expansion during bake-out.

Realization

In the course of development, test systems were set up and subjected to thermal cycling for evaluation of stability in critical areas. The final 300 mm diameter unit with the chucking element on top is shown in Fig 2. Three symmetrically arranged fastening elements secure the chuck to the mounting base and between these the partly elevated lift-pins, used for wafer transfer to and from the chuck, can be seen as dark points slightly proud of the chuck surface. An ultra-high-vacuum compatible drive unit, attached to the bottom center of the mounting plate, drives the lifting mechanism. A spindle mechanism transforms rotational motion into axial movement and lifts the wafer simultaneously at three points to about 10 mm above the chucking plane for handling purposes. Several limit switches are included for safe and reliable operation under automated production conditions. In addition the unit is equipped with a cable reel thereby allowing free movement of the whole unit inside the vacuum chamber.

For the clamping element, a glass ceramic material of high clamping force at a moderate voltage was chosen /2/, /3/. Fig. 3 displays the chuck surface. The electrical layout is a bipolar design with two electrodes shaped in the form of a „double D” as clearly visible through the transparent dielectric material.

The bipolar design ensures clamping for all types of semi-conducting wafer materials without the need of a direct electrical contact with the wafer. Therefore, no scratch pin is necessary and wear and particle generation upon chucking is negligible. Also seen in Fig. 3 are the lift pins (dark) for wafer transfer off and onto the chuck and the three circular connectors (bright) for the fixation of the chuck to the underlying mounting plate.

The complete unit was tested with respect to flatness at sub- μm resolution using a 3-D measurement system at 19 measurement points across the surface and found to be flat within 2.2 μm (at horizontal orientation) and parallel with respect to the mounting plate within 26 μm . Electrical tests verified that less than 500 V clamping voltage was sufficient for safe clamping of Si-wafers vertically.

References:

- /1/ Beckhoff, B.; Fliegau, R.; et al.: „Improvement of total reflection X-ray fluorescence analysis of low Z elements”, Spectrochimica Acta Part B, 56 (2001) 2073–2083.
- /2/ Kalkowski, G.; Risse, S.; Harnisch, G. and Guyenot, V.: „Electrostatic Chucks for Lithography Applications”, Microelectronic Engineering 57–58 (2001) 219–222.
- /3/ Kalkowski, G.; Kamm, F.-M.: www.sematech.org/resources/litho/meetings/euvl/20030223b/03_Fraunhofer_NEW_Electrostatic_Chucking.pdf



Abb. 2:
300 mm elektrostatischer Chuck
mit integriertem Liftmechanismus.

Fig. 2:
300 mm electrostatic chuck with integrated
lift mechanism.



Abb. 3:
Chuck-Oberfläche mit bipolarer
Elektroden-Konfiguration.

Fig. 3:
Chuck surface with bipolar electrode design.