

Qualitätskontrolle von EUV-Optiken bei der Arbeitswellenlänge mittels Labor-Reflektometer

Aufgabenstellung

Multischichten für EUV-Optiken, wie sie z.B. für Lithographieanlagen der nächsten Generation zum Einsatz kommen sollen, müssen höchsten Anforderungen hinsichtlich Reflektivität, Reproduzierbarkeit, Homogenität bzw. Präzision der Schichtdickenverteilung, Auflösungsvermögen und Temperaturstabilität genügen. Insbesondere müssen diese Eigenschaften auch auf gekrümmten Optikoberflächen realisiert und kontrolliert werden können.

Für den Schichtentwickler und -produzenten stellt deshalb die Kontrolle der erzielten Schichtparameter bei der Arbeitswellenlänge einen wesentlichen Zeitfaktor für die Optimierung der Schichtsysteme dar. Die Kontrolle derartiger Multischichten geschieht vornehmlich durch Auswertung von Reflektometrie-Messungen. Bisher war man für derartige Messungen im EUV-Bereich auf die Nutzung von Synchrotronstrahlung (z.B. am BESSY II in Berlin) angewiesen, was infolge räumlicher Ferne jedoch immer mit einer gewissen Verzögerung im Entwicklungs- und Fertigungsprozess verbunden war.

Lösungsweg

Die Entwicklung eines Labor-Reflektometers mit der Arbeitswellenlänge im EUV-Bereich war deshalb auch ein erklärtes Ziel weltweiter Bemühungen auf dem Wege der EUV-Anwendungen. Aufbauend auf den internationalen Erfahrungen sowie in Zusammenarbeit mit der Physikalisch-Technischen Bundesanstalt (PTB), dem Max-Born-Institut (MBI), der Fa. Bestec, der Fa. AIS Automation und der Carl Zeiss SMT AG wurde im Fraunhofer IWS Dresden in einem vom BMBF geförderten Projekt ein solches Labor-Reflek-

tometer aufgebaut. Es gab dabei 4 Schwerpunktaufgaben zu lösen:

- Die Bereitstellung einer geeigneten Strahlungsquelle, die im EUV-Bereich zeitlich und örtlich stabil einen hohen Photonenfluss gewährleistet.
- Die Monochromatisierung der erzeugten EUV-Strahlung.
- Die Realisierung einer geeigneten Proben- und Detektormanipulation für Reflektometrie-Messungen an Spiegeln und Masken, die in ihren Dimensionen auch den Erfordernissen der Halbleiterindustrie gerecht werden.
- Eine Steuer- und Messtechnik, die die erforderlichen Prozessabläufe realisiert.

Ergebnisse

Eine Gesamtansicht des IWS-Labor-EUV-Reflektometers wird in Abb. 1 gezeigt. Wegen der Absorption der EUV-Strahlung an Luft muss das Reflektometer vollständig unter Vakuum arbeiten.

Die EUV-Quelle arbeitet auf der Basis eines kommerziellen Nd:YAG-Lasers mit nachgeschalteter Laserstrahlfokussierung (Laserwellenlänge: 532 nm, Takt: 10 Hz, Pulslänge: 10 ns, Laserstrahlfokus: 10 μm). Der fokussierte Laserstrahl generiert auf einer Goldtargetoberfläche ein Plasma, das im EUV-Bereich ein quasikontinuierliches Spektrum liefert (je Schuss eine frische Targetoberfläche, Quellpunktdurchmesser: ca. 50 μm). Bei einer Laserleistung von 650 mJ beträgt der spektrale Photonenfluss in der EUV-Quelle $11 \cdot 10^{13}$ Photonen / (s sr 0,1nm bw) bei einer Wellenlänge von 13,4 nm.

Der Monochromator, zusammengesetzt aus Eintrittsblende, plan-elliptischem Vorspiegel, sphärischem Gitter mit 1200 Linien / mm, Austrittsspalt, sphärischem Refokussierspiegel, 2 Streulichtblenden und Strahlteiler zur



Abb. 1: Gesamtansicht des EUV-Reflektometers (Bild: Fraunhofer IWS Dresden)

Am Projekt beteiligte Partner:

- Fraunhofer-Institut für Werkstoff- und Strahltechnik IWS Dresden
- Physikalisch-Technische Bundesanstalt Berlin
- Max-Born-Institut Berlin
- Bestec GmbH Berlin
- AIS Automation GmbH Dresden
- Carl Zeiss SMT AG Oberkochen

Strahlmonitorierung liefert die gewünschte EUV-Strahlung, einstellbar im Bereich von 10 nm bis 16 nm mit einer Bandbreite von typischerweise 0,03 nm. Bei einer Laserleistung von 250 mJ wird am Monochromatorausgang eine Photonenzahl von $3 \cdot 10^6$ Photonen / Schuss registriert, was für den Routinemessbetrieb ausreichend ist. Der Messfleck auf der Probe beträgt im Durchmesser ca. 2 mm.

Die Goniometerkammer birgt das Probenmanipulationssystem des Reflektometers, das die zu vermessenden Spiegel oder Masken mit einem Durchmesser bis zu 50 cm und einer Dicke bis zu 20 cm sowie einem Gewicht bis zu 30 kg aufnehmen kann (Abb. 2). Der Einfallswinkel des EUV-Strahles kann standardmäßig zwischen 3° und 60° variiert werden.

Eine Gesamtsteuerung gewährleistet und überwacht den Betrieb des Reflektometers.

Mit dem Labor-Reflektometer können nun sowohl ebene als auch gekrümmte Proben vermessen werden. Dabei liegen die Schwankungen der Reflektivitätswerte unterhalb 0,5 % RMS und die der Wellenlänge unterhalb 0,013 % RMS. Bei einem Langzeittest über 3 Monate zeigte sich für die Peak-Reflektivität sogar eine Schwankungsbreite von nur 0,13 % RMS. Die Schwankungsbreite der Wellenlänge blieb dabei unverändert.

Mit einem solchen guten Messgerät kann dann auch die Beschichtung von konvex oder konkav gekrümmten Spiegeln optimiert werden. So müssen z.B. für Optiken in Schwarzschildobjektiven für die EUV-Mikroskopie oder -Spektroskopie stark gekrümmte Substratoberflächen ($R_{\text{Krümmung}} = 35 \text{ mm}$) mit präzisen Gradienten beschichtet werden. Dies erfordert den Einsatz spezieller Masken mit lateral variieren-

der Transmission bei der Beschichtung. Die genaue Beschaffenheit der Masken muß durch einen iterativen Prozeß, in dem sich Beschichtung und Vermessung abwechseln, ermittelt werden.

Dabei gilt es auch, die Arbeitswellenlänge entsprechend den Designvorgaben auf der gekrümmten Spiegeloberfläche richtig zu positionieren. Bei unmittelbarer Verfügbarkeit der Charakterisierung bei der Arbeitswellenlänge ist so eine sehr effektive Optimierung dieser Spiegel möglich.

Außerhalb des Standardmessbetriebes bietet das Labor-Reflektometer für kleinere Proben die Möglichkeit mit streifendem Einfall des EUV-Strahles zu arbeiten. Auf diese Weise können dann Schichteigenschaften z.B. über die Vermessung der Breite der Totalreflektionskante bestimmt werden.

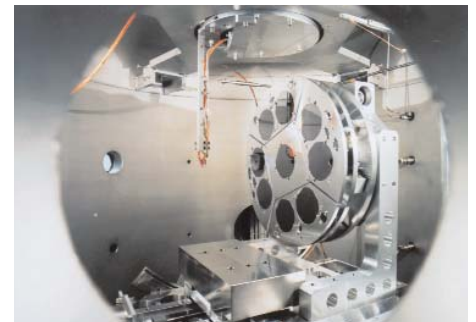


Abb. 2: Probenmanipulationssystem innerhalb der Goniometerkammer
(Bild: Fraunhofer IWS Dresden)



Abb. 3: Präzisionsantrieb für die Gitterbewegung zur Wellenlängeneinstellung am Monochromatorausgang
(Bild: Fraunhofer IWS Dresden)

Ihr Ansprechpartner für weitere Informationen:

Fraunhofer-Institut für Werkstoff- und Strahltechnik IWS Dresden
Winterbergstr. 28
01277 Dresden

Dr. Ludwig van Loyen

Tel. 0351 / 2583 422

Fax 0351 / 2583 300

Mail ludwig.vanloyen@

iws.fraunhofer.de