

# Forschungsaktivitäten im EUV-Labor des RheinAhrCampus Remagen der Fachhochschule Koblenz

## **KEY-Words:**

*Lithographische Prozesse – Lichtwellenlänge – Entwicklung alternativer Quellkonzepte für kleinere Wellenlängen – Quelle auf Basis laserinduzierten Plasmas – Messwerkzeuge für den EUV-Spektralbereich – Quellen auf Basis von fs-Lasersystemen – ultrakurze Pulsdauern <3fs – differentielle Interferenzkontrast im Bereich der Röntgenmikroskopie*

Das Bestreben, immer kleinere und leistungsfähigere Halbleiterbausteine herzustellen, hat die optische Lithographie heute bis weit in den ultravioletten Spektralbereich zu Wellenlängen kleiner 200 nm ( $1 \text{ nm} = 10^{-9} \text{ m}$ ) zur Herstellung der Mikrostrukturen geführt. Bei den lithographischen Prozessen, bei denen mit Licht die Struktur einer Referenzmaske verkleinert auf das Substratmaterial belichtet und dann die eigentliche Mikrostruktur entwickelt wird, hängt die minimal zu erreichende Größe direkt mit der zur Belichtung benutzten Wellenlänge zusammen, je kleiner die Lichtwellenlänge, desto kleiner prinzipiell die Struktur. Zur Zeit stehen für die Belichtungsprozesse UV-Laser zur Verfügung, die bei 193 nm arbeiten, eine Verkleinerung der Wellenlänge auf 157 nm ist in naher Zukunft möglich. Für noch kleinere Wellenlängen stehen aus physikalischen Gründen jedoch keine leistungsstarken optischen Systeme mehr zur Verfügung. Für die Herstellung von Strukturen im 50 nm-Bereich besteht somit die Notwendigkeit, alternative Quellkonzepte zu entwickeln und diese eingehend auf ihre Eignung für technische Anwendungen wie die Lithographie zu untersuchen. Die Wahl für die Lithographiewellenlänge zukünftiger Wafer-Stepper, den Belichtungssystemen für die Halbleiterchips, ist auf 13 nm gefallen, im wesentlichen dadurch begünstigt, dass für diese Wellenlänge hochreflektierende Spiegel existieren, die als Optiken in der Projektionslithographie eingesetzt werden können.

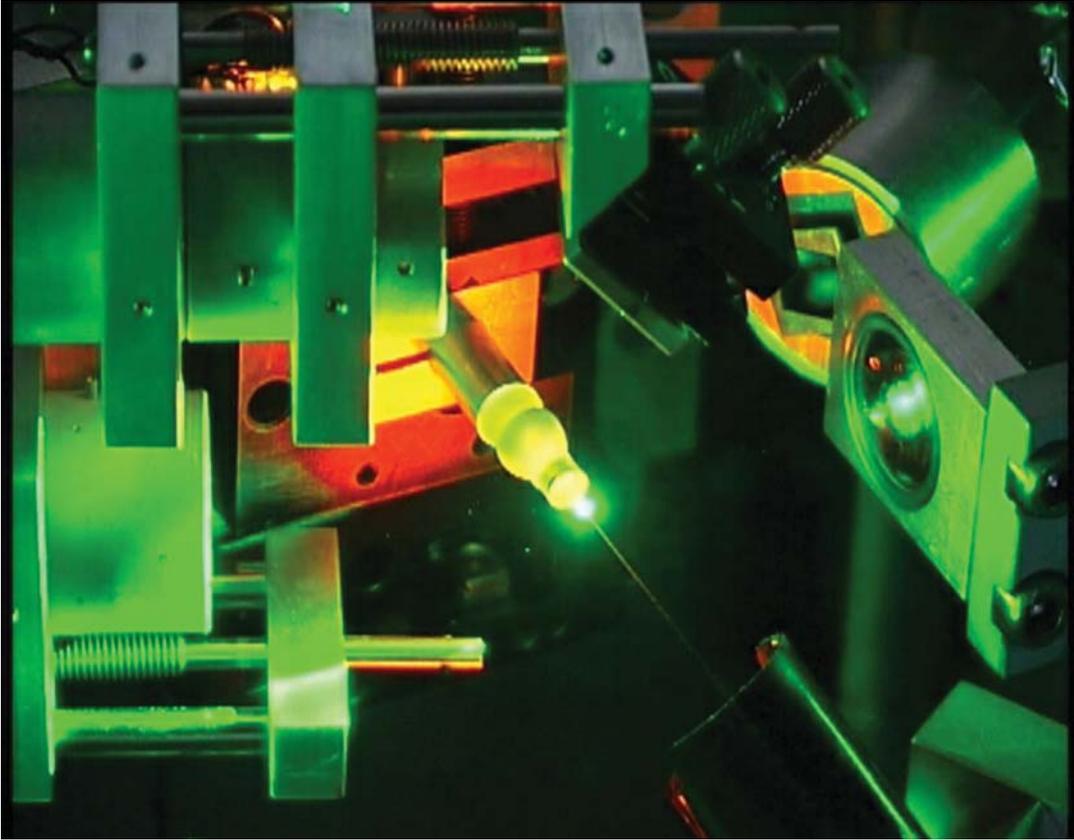
Bevor die sogenannte EUV-Lithographie (EUV = ExtremUltraViolet) jedoch in die Produktionshalen Einzug hält, ist ein großes Entwicklungspensum im Quellenbereich zu leisten. Mit großer Wahrscheinlichkeit wird eine EUV-Quelle für die Lithographie eingesetzt werden, die das benötigte Licht aus einem Plasma emittiert, was entweder über eine Entladung oder einen intensiven Laserpuls erzeugt werden kann. Auf dem Gebiet der laserinduzierten Plasmen zur Erzeugung von EUV- oder weicher Röntgenstrahlung wie auch auf dem Gebiet der Messtechnik in diesem Spektralbe-

reich besitzt das EUV-Labor am RheinAhrCampus Remagen grundlegende Erfahrungen und Kompetenzen.

Für den Spektralbereich um 13 nm verfügt das EUV-Labor über eine Quelle auf der Basis eines laserinduzierten Plasmas. Zur Strahlungserzeugung wird ein gepulster, frequenzverdoppelter Nd:YAG-Laser von 532 nm Wellenlänge und 3 ns Pulsdauer auf einen dünnen Flüssigkeitsstrahl im Vakuum fokussiert, auf dem das die EUV-Strahlung emittierende Plasma entsteht. Der Aufbau dieser Quelle in Kooperation mit dem Max-Born-Institut für Nichtlineare Optik und Kurzzeitspektroskopie (MBI), Berlin, erfolgte u.a. im Rahmen eines BMBF-Projektes, das grundlegende Fragestellungen zur Optimierung einer solchen Quelle hinsichtlich der Konversion von Laserlicht in EUV-Strahlung beantworten soll. Diverse experimentelle Parameter wie Laserwellenlänge, Laserpulsdauer, Targetsystem (fest, flüssig, gasförmig) und Targetmaterial bestimmen die Emission des erzeugten Plasmas und müssen hinsichtlich ihres Einflusses auf die gewünschte Strahlungsemission und der Anforderungen einer lithographischen Anwendung systematisch untersucht werden. Neben dem Aufbau einer Quelle sind für solche Untersuchungen Messwerkzeuge notwendig, die speziell für den EUV-Spektralbereich geeignet sind und z.B. die Bestimmung absoluter Emissionsleistungen bei 13 nm mit hoher Genauigkeit ermöglichen, da zur Dimensionierung der Belichtungssysteme die zu erwartenden EUV-Leistungen genau bekannt sein müssen. Präzise Absolutmessungen im EUV erfordern weit größeren Aufwand als vergleichbare Messungen im sichtbaren Spektralbereich und basieren auf der Eichung der benutzen Messsysteme, die zweckmäßigerweise an Elektronenspeicherringen durchgeführt werden, da diese gut bekannte Strahlungsquellen im EUV und weichen Röntgenbereich sind. In Zusammenarbeit mit dem MBI wurden Kalibriermessungen von CCD-Systemen am Elektronenspeicherring BESSY II in Berlin

## **KONTAKT:**

Prof. Dr.  
Thomas Wilhein  
Fachbereich Mathematik und Technik  
RheinAhrCampus  
Remagen der Fachhochschule Koblenz  
Südallee 2  
53424 Remagen  
T 02642 932-203  
wilhein@rheinahr-campus.de



durchgeführt. Neben den vom BMBF geförderten, eher grundlagen-orientierten Projekten besteht darüber hinaus enger Kontakt zu auf diesem Gebiet tätigen Optikfirmen wie Zeiss, Oberkochen oder Jenoptik, Jena.

Nicht nur durch das starke industrielle Interesse hat der EUV-Spektralbereich auch im wissenschaftlichen Sektor an Bedeutung gewonnen. Die Zahl der Nutzer von EUV- und Röntgenquellen im Laborbereich wächst ständig und erfordert die beständige Weiterentwicklung der Systeme.

Begünstigt durch die Arbeiten aus dem Lithographiesektor konnten auch im Bereich der Grundlagenforschung im vergangenen Jahr erfolgreiche Kooperationen mit deutschen sowie ausländischen Hochschulen aufgebaut werden. Zwei Projekte beschäftigen sich mit der Charakterisierung und Anwendung alternativer Laborquellenkonzepte für Strahlung im EUV-Bereich um 13 nm

Wellenlänge, sogenannter „Hoher Harmonischer“ (HH). Diese Quellen basieren auf fs-Lasersystemen, die optische Pulse mit weniger als 10 fs ( $1 \text{ fs} = 10^{-15} \text{ s}$ ) liefern. Durch eine nichtlineare Frequenzvervielfachung in einem Targetgas, auf das die Laserpulse fokussiert werden, kann man so Strahlung bis weit in den weichen Röntgenbereich hinein erzeugen. Das interessanteste Merkmal dieser Quellen ist die Pulsstruktur der erzeugten Röntgenstrahlung, die noch deutlich kürzer als die benutzten Laserpulse sind, Messungen ergeben Pulsdauern  $< 3 \text{ fs}$ . Diese ultrakurzen Pulse sind insbesondere für zeitaufgelöste Experimente wichtig, in denen man Aufschluss über sehr schnelle, z.B. inneratomare Prozesse gewinnen möchte, die bisher aufgrund nicht vorhandener „Sonden“ im Zeitbereich nicht zugänglich waren. Bevor jedoch der routinemäßige Einsatz einer HH-Quelle für solche Messungen



möglich ist, bedarf es einer eingehenden Charakterisierung der Quelleigenschaften wie zeitlicher und räumlicher Stabilität der Emission, spektraler Verteilung der HH sowie der Kohärenzeigenschaften. Zu diesen Zwecken können u.a. auch die im EUV-Labor entwickelten Diagnosesysteme eingesetzt werden, was im Rahmen einer Kooperation mit der TU Wien an der Wiener HH-Quelle mit der Universität Bielefeld als weiterem Kooperationspartner geschieht. Ziel des Projektes ist die Realisierung erster, zeitaufgelöster Experimente mit 13 nm Strahlung, die im Rahmen des laufenden Projektabschnittes gelingen sollen. Das zweite Projekt im Bereich der „Hohen Harmonischen“ wird in Verbindung mit der Universität Münster durchgeführt, die eine ähnliche HH-Quelle betreibt und an Anwendungen der gepulsten Röntgenstrahlung im Bereich Oberflächenphysik interessiert sind. Auch hier soll eine

grundlegende Charakterisierung den Weg zur Nutzung der Quelle ermöglichen.

Neben den Aktivitäten im Strahlungsbereich um 13 nm Wellenlänge bestehen weitere Forschungsprojekte in Kooperation mit anderen Institutionen, die die Nutzung höherenergetischer Strahlung für mikroskopische Anwendungen zum Ziel haben. Wie für die Lithographie gilt auch für die Mikroskopie, dass mit kleinerer Wellenlänge die aufzulösende Struktur kleiner wird.

Das von der Europäischen Union geförderte Projekt „TWINMIC“ befasst sich dazu mit dem Aufbau eines flexiblen, röntgenmikroskopischen Systems, das an unterschiedlichen Elektronenspeicherringen zum Einsatz kommen soll. Projektpartner sind u.a. die „European Synchrotron Radiation Facility“ in Grenoble, Frankreich und „ELETTRA“ in Trieste, Italien.

Ebenfalls in Zusammenarbeit mit der ESRF in Grenoble werden kontinuierlich Arbeiten zur Implementierung alternativer Kontrastverfahren wie die des differentiellen Interferenzkontrastes im Bereich der Röntgenmikroskopie mit 0.3 nm Wellenlänge durchgeführt. Bei diesen Experimenten konnte das Kontrastverfahren, das im Gegensatz zu herkömmlichen Methoden sensitiv auf die Phase der elektromagnetischen Strahlung ist, zum ersten Mal mit Röntgenstrahlung erfolgreich angewendet werden.

