

# Einsatzmöglichkeiten mikrooptischer Komponenten für Mask Aligner Belichtungssysteme

M. Hornung<sup>1</sup>, K. Schindler<sup>1</sup>, U. Vogler<sup>2</sup> und R. Voelkel<sup>2</sup>

<sup>1</sup> SUSS MicroTec Lithography GmbH, Schleissheimer Str. 90, 85748 Garching, michael.hornung@suss.com

<sup>2</sup> SUSS MicroOptics SA, Jaquet-Droz 7, 2000 Neuchâtel, Schweiz

## Kurzfassung

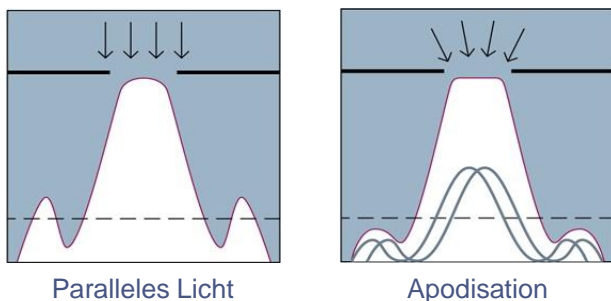
Mikrooptische Komponenten sind Schlüsselemente für die Beleuchtung von High-End Wafersteppern und ermöglichen ein präzises Einstellen des Beleuchtungslichtes um Aberrationen und Beugungseffekte auf ein Minimum zu reduzieren. Auch in Mask Alignern lässt sich Mikrooptik zur Lithografieverbesserung erfolgreich einsetzen. Ein neues Beleuchtungssystem, die sogenannte MO Exposure Optics, verbessert Uniformität und Telezentrie des Lichtes, und ermöglicht es auch im Mask Aligner das Winkelspektrum sehr präzise einzustellen. Mit MO Exposure Optics können nun in Mask Alignern Lithografieverbesserungsmethoden wie Optical-Proximity-Correction (OPC) und Source-Mask-Optimization (SMO) angewendet werden. Neuartige, sogenannte „Advanced Mask Aligner Lithographie (AMALITH)“ Methoden, wie Halbton-, Graulevel-, Pinhole- und Talbot-Lithografie erweitern den Einsatzbereich von Mask Alignern.

## Abstract

Micro-optics is a key enabling technology for high-end wafer-stepper. They allow shaping the illumination light at a very high precision to further reduce aberrations and diffraction effects. Also in mask aligners, micro-optical illumination could significantly improve the lithography. A novel illumination system, referred as MO Exposure Optics, improves uniformity and telecentricity and provides high flexibility to shape the angular spectrum of the illumination. Photolithography enhancement technology (PET), like optical proximity correction (OPC) and source-mask optimization (SMO) could now be used in mask aligner lithography. This opens the door to an “Advanced Mask Aligner Lithography (AMALITH)”, using e.g. halftone-, grey-level masks, pinhole arrays or Talbot-lithography in a mask aligner.

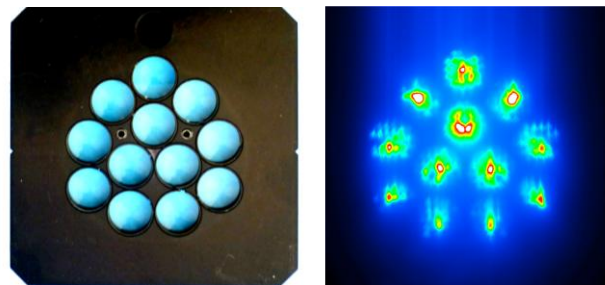
## 1 Einleitung

Fotolithografische Strukturierungsverfahren werden in der Halbleitertechnologie und in der Mikrosystemtechnik zur Herstellung von Bauelementen eingesetzt. In den Anfängen der Halbleiterindustrie war hier die Proximity- oder Kontaktbelichtung im Mask Aligner die bevorzugte Methode. In einem Mask Aligner wird eine binäre Chromstruktur von einer Maske durch Schattenwurf auf den Wafer übertragen. Durch Off-Axis Beleuchtung der Fotomaske können störende Beugungseffekte durch Apodisation reduziert werden (**Bild 1**).



**Bild 1:** Beugungsreduzierung der Belichtungsoptik in einem Mask Aligner durch „Off-Axis“ Beleuchtung. Die Lichtintensität der 1. Beugungsordnung bleibt dadurch unterhalb der Empfindlichkeitsschwelle des Fotolackes.

In Mask Alignern wurde bisher ein einstufiger, aus zwei Linsenplatten (Bild 2, links) bestehender Wabenkondensator verwendet. Die einzelnen Linsen wurden in vorgefertigte Löcher in eine Metallplatte eingepasst. Eine zweite Linsenplatte mit identischen Linsen wurde in der Brennebene der ersten Linsenplatte positioniert.



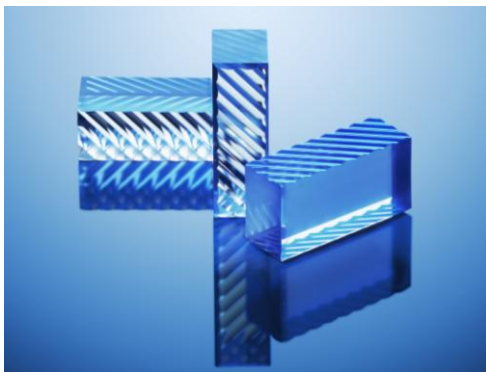
**Bild 2:** (Links) Bisher verwendete Linsenplatte mit einzelnen Linsen zur Homogenisierung des Beleuchtungslichtes im Mask Aligner, (rechts) Messung des Winkelspektrums für einen Punkt am Rand der Maske.

Eine Beugungsreduzierung wurde durch die Anordnung der Linsen in zwei Ringen erreicht (Bild 2, links). Ein wesentlicher Nachteil dieser Optik bestand darin, dass die Off-Axis-Winkel fest eingestellt und unveränderlich waren. Optimale Beleuchtung wurde somit nur für eine bestimmte Kombination von Strukturgröße und Proximityabstand erreicht. Deshalb wurden zum Beispiel bei SUSS Mask Alignern für Kontakt- und Proximity-

lithografie unterschiedliche Beleuchtungsoptiken, wie HR- und LGO-Optik, angeboten. Ein Wechsel der Optiken erforderte einen aufwendigen Umbau. Ein weiterer Nachteil der einstufigen Homogenisierungsoptik ist die Abhängigkeit der Uniformität des Belichtungslichtes von der Justierung der Lampe im Ellipsoid. Dies erforderte eine häufige Kontrolle und Nachregelung des Lichtes. Zudem war die Beleuchtung nicht telezentrisch und das Winkelspektrum variierte über das gesamte Belichtungsfeld der Fotomaske (Bild 2, rechts).

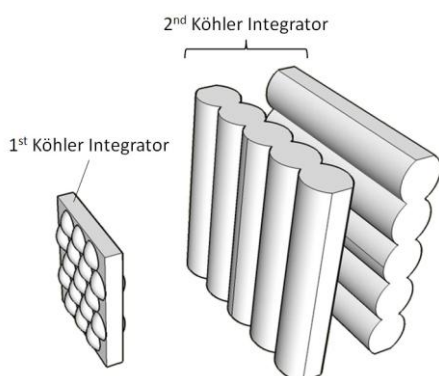
## 2 Mikrooptiken für MO Exposure Optics Beleuchtungssystem

Mit waferbasierten Herstellungstechnologien können heute Mikrooptiken für die präzise Strahlformung von Lasern und anderen Lichtquellen hergestellt werden [1]. Für monochromatische Laserlichtquellen, wie Excimer-Laser im Waferstepper, empfehlen sich diffraktive optische Elemente (DOE). Für Mask Aligner, die mit polychromatischem Licht einer Quecksilberhochdrucklampe (g-, h- und i-Linie) arbeiten, werden Arrays mit refraktiven Mikrolinsen verwendet (Bild 3).



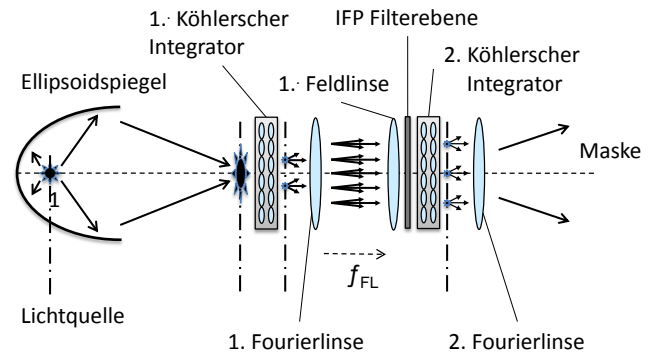
**Bild 3:** Array mit gekreuzten Zylinderlinsen auf Vorder- und Rückseite zur Strahlformung.

Für die MO Exposure Optics [2] wird ein zweistufiges System mit zwei Köhlerschen Integratoren verwendet.



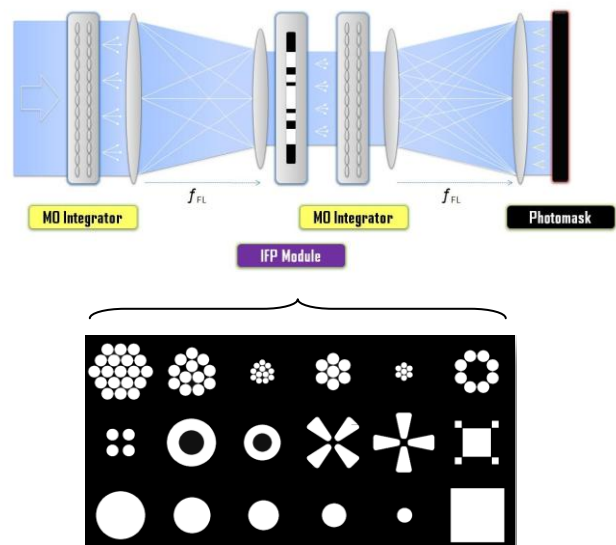
**Bild 4:** Schematische Zeichnung der beiden Mikrolinsenarrays die als erster und zweiter Integrator in der MO Exposure Optics für Mask Aligner eingesetzt werden.

Der erste Integrator, der das Licht vom Ellipsoiden in ein Flat-Top Profil umwandelt, ist ein doppelseitiges Array mit runden Mikrolinsen in hexagonal dichter Packung (Bild 4). Der zweite Integrator besteht aus zwei doppelseitigen Zylinderlinsenarrays, wobei das zweite Array um 90° zum ersten gedreht ist. Wie in Bild 5 schematisch gezeigt wird, werden im Beleuchtungssystem zusätzliche Fourier- und Feldlinsen verwendet.



**Bild 5:** Schematischer Aufbau der MO Exposure Optics mit zwei Köhlerschen Integratoren für optimale Lichtgleichmäßigkeit und ein einstellbares Winkelspektrum.

Der erste Integrator leuchtet auf dem zweiten Integrator eine runde Fläche homogen aus (Bild 5). In dieser Ebene wird eine austauschbare Filterplatte (IFP), typischerweise eine Metallplatte mit Löchern, zur Filterung des Beleuchtungslichtes eingesetzt (Bild 6). Der zweite Integrator leuchtet die Maskenebene homogen mit einem quadratischen Flat-Top aus. Das Winkelspektrum des Beleuchtungslichtes wird durch das Muster der IFP bestimmt. Bild 6 (oben) zeigt schematisch die Filterung des Beleuchtungslichtes und (unten) verschiedene IFP Beleuchtungsfiler für Mask Aligner Lithografie.



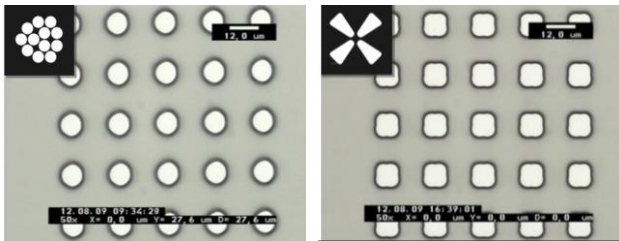
**Bild 6:** (oben) Schematische Zeichnung der Filterung des Beleuchtungslichtes in der Eintrittsebene des zweiten Integrators, (unten) verschiedene IFP Beleuchtungsfiler.

Durch den Wechsel der Filterplatte lässt sich die Verteilung des Winkelspektrums als zusätzlicher Belichtungsparameter flexibel einstellen und so an die Maskenstrukturen und den Belichtungsabstand anpassen [3, 4]. Damit sind mit einem Mask Aligner einige der aus der Projektionslithografie bekannten Verbesserungsmethoden wie Customized Illumination, Optical Proximity Correction (OPC) und Source-Mask Optimization (SMO) möglich.

Neuartige, sogenannte „Advanced Mask Aligner Lithography“ Methoden, wie Halbton-, Graulevel-, Pinhole- und Talbot-Lithografie erweitern den Einsatzbereich von Mask Alignern [4]. Im folgenden Abschnitt werden verschiedene Beispiele gezeigt.

### 3 Anwendungsbeispiele

Eine einfache Korrektur der Beugungseffekte durch geeignete Wahl des IFP-Filters (Bild 7).



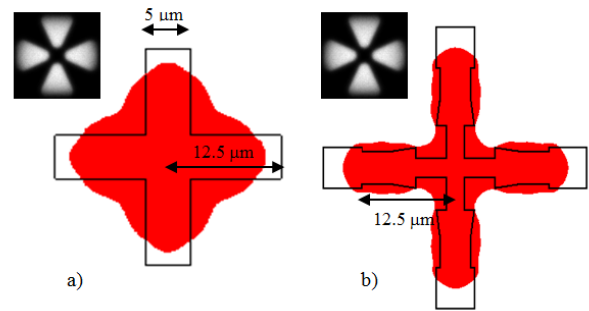
**Bild 7:** Ergebnisse für „Customized Illumination“ in einem SUSS Mask Aligner mit MO Exposure Optics and IFP Beleuchtungsfiler. Resistprints einer 10 x 10 µm quadratischen Maskenstruktur bei 100 µm Proximityabstand für, (links) normale Belichtungsoptik (LGO) und (rechts) optimierte IFP Beleuchtungsfiler.

MO Exposure Optics erlaubt ein genaues Einstellen aller Belichtungsparameter. Dies ist eine zwingende Voraussetzung für die präzise Simulation und Modellierung der Beugungseffekte im Mask Aligner (Bild 8).

Illumination	Contact	20 µm	50 µm

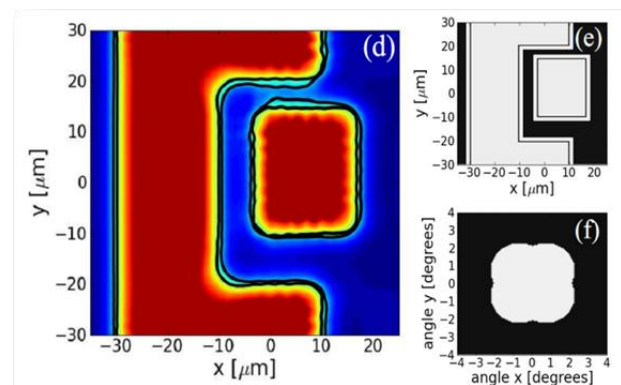
**Bild 8:** Beispiel für Simulation der Intensitätsverteilung im Fotoresist (rot) für eine kreuzförmige Struktur mit 5 µm Breite und (oben) der Standard LGO-Belichtung und (unten) Malteserkreuz-Belichtung für verschiedene Proximity-Abstände im Mask Aligner.

Wie in Bild 9 ersichtlich, kann die in Bild 8 gezeigte Struktur durch Optical Proximity Correction (OPC) weiter verbessert werden.



**Bild 9:** Beispiel für Optical Proximity Correction (OPC): Simulation der Intensitätsverteilung im Fotoresist (rot) für eine kreuzförmige Struktur mit 5 µm Breite für 200 µm Proximity-Abstand. Durch OPC Assist Features (rechts) kann bei identischem IFP Beleuchtungsfiler die Struktur weiter verbessert werden.

Kommerziell erhältliche Software, wie LayoutLab<sup>1</sup> und Dr. Litho<sup>2</sup>, erlauben beides, Customized Illumination und OPC für Mask Aligner Lithografie zu simulieren und optimieren (Bild 10).



**Bild 10:** Beispiel für Source-Mask Optimization: (links) Simulation der Intensitätsverteilung im Fotoresist für eine Maskenstruktur, die mit OPC Assist Features (rechts oben) und einem „customized“ IFP Beleuchtungsfiler (rechts unten) optimiert wurde [5].

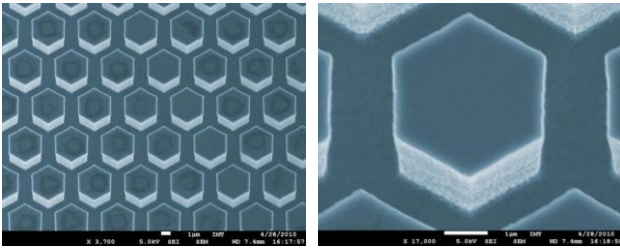
Für ausgewählte Fotoresiste können mittlerweile ebenfalls die Effekte bei der Belichtung von dicken Resistlayern simuliert werden.

<sup>1</sup> LayoutLAB, GenISys, www.genisys-gmbh.com

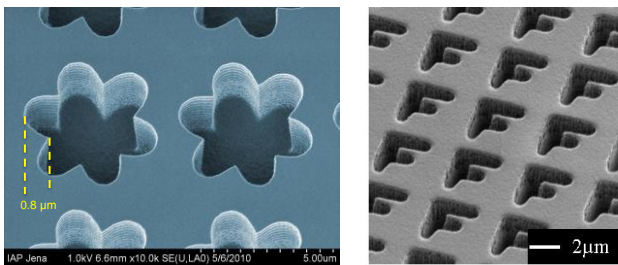
<sup>2</sup> Dr.Litho Software, Fraunhofer IISB, www.dr.litho.com

## 4 Advanced Mask Aligner Lithography

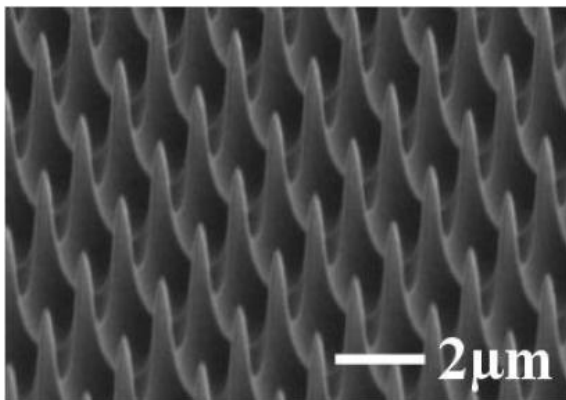
MO Exposure Optics ermöglicht es bestehende Lithografieprozesse im Mask Aligner durch Veränderung der Beleuchtung und der Maskenstruktur deutlich zu verbessern. Durch die kontrollierte Beleuchtung ist es auch möglich zum Beispiel durch Computerhologramme (CGH) eine bestimmte Wellenfront im Fotoresist zu erzeugen. Advanced Mask Aligner Lithography (AMALITH) umfasst alle unkonventionellen Belichtungsmethoden, wie zum Beispiel die Pinhole-Talbot Lithografie. Mit Pinhole-Talbot Lithografie können im Mask Aligner periodische Muster mit Submikron-Auflösung mit Proximity-Lithografie hergestellt werden [4].



**Bild 11:** Periodisches Muster mit Hexagons ( $3\ \mu\text{m}$ ) das mit Pinhole-Talbot Lithography in  $102\ \mu\text{m}$  Proximity-Abstand im SUSS MA6 Mask Aligner geprintet wurde.



**Bild 12:** Periodisches Muster von (links) Sternen ( $5\ \mu\text{m}$ ) und (rechts) dem Buchstaben „F“ die mit Pinhole-Talbot Lithography in  $98\ \mu\text{m}$  und  $66\ \mu\text{m}$  Proximity-Abstand im SUSS MA6 Mask Aligner geprintet wurden.



**Bild 13:** Periodisches Muster mit  $2\ \mu\text{m}$  Periode, das mit Halbton-Lithography in  $10\ \mu\text{m}$  Proximity-Abstand im SUSS MA6 Mask Aligner geprintet wurde.

## 5 Zusammenfassung

Mikrooptische Komponenten sind die Schlüsselemente für MO Exposure Optics, eine neue Beleuchtungsoptik für SUSS Mask Aligner. Diese Beleuchtungsoptik verbessert die Uniformität und Telezentrie des Belichtungslichtes. Mittels auswechselbaren Filtern kann das Winkelspektrum flexibel angepasst werden. Damit können Beugungseffekte bei der Schattenwurf lithografie im Mask Aligner deutlich reduziert werden. Erstmals können im Mask Aligner auch Methoden zur Lithografieverbesserung wie Optical Proximity Correction (OPC) und Source-Mask Optimization (SMO) eingesetzt werden.

Advanced Mask Aligner Lithography (AMALITH) umfasst verschiedene Methoden, wie auf Halbton-, Graulevel-, Pinhole- und Talbot-Lithografie beruhen. Mit diesen teilweise aus der Holografie entlehnten Techniken können beispielsweise periodische Muster im Submikron-Bereich in Mask Aligner über grosse Wafer geprintet werden. Typische Anwendungen sind geblazte Gitter oder Patterned Sapphire Structures (PSS) wie sie zur Herstellung von blauen LEDs benötigt werden.

## 6 Literatur

- [1] R. Voelkel, M. Eisner, "Vom Facettenauge zur Mikrolinse", Mikroproduktion 02/2007, Seite 38-41.
- [2] R. Voelkel, U. Vogler, A. Bich, K. J. Weible, M. Eisner, M. Hornung, P. Kaiser, R. Zoberbier, E. Cullmann, „Illumination system for a microlithographic contact and proximity exposure apparatus“, EP 09169158.4, (2009).
- [3] R. Voelkel, U. Vogler, A. Bich, P. Pernet, K. J. Weible, M. Hornung, R. Zoberbier, E. Cullmann, L. Stuerzebecher, T. Harzendorf, and U.D. Zeitner, "Advanced mask aligner lithography: new illumination system," Opt. Express 18, 20968-20978 (2010).
- [4] L. Stuerzebecher, T. Harzendorf, U. Vogler, U. Zeitner, R. Voelkel, "Advanced mask aligner lithography: Fabrication of periodic patterns using pinhole array mask and Talbot effect", Optics Express 18, 2010.
- [5] K. Motzek, A. Bich, A. Erdmann, M. Hornung, M. Hennemeyer, B. Meliorisz, U. Hofmann, N. Unal, R. Voelkel, S. Partel, P. Hudek, "Optimization of illumination pupils and mask structures for proximity printing", Microelectronic Engineering, Volume 87, Issues 5-8, The 35th International Conference on Micro- and Nano-Engineering (MNE), May-August 2010, Pages 1164-1167, ISSN 0167-9317 (2010).