



## HIGH DYNAMIC GRAYSCALE LITHOGRAPHY WITH FAST IMAGING VIOLET-LED EXPOSURE

Der Einsatz moderner mikrooptischer Elemente hat in den vergangenen Jahren zu einer signifikanten Steigerung der Funktionalität optischer Systeme geführt. Für die Realisierung solcher Elemente werden Herstellungsmethoden benötigt, mit denen sich effizient Mikrostrukturen beliebiger Geometrie und einer Präzision im Nanometermaßstab erzeugen lassen. Hierfür haben sich lithographische Verfahren als eine der flexibelsten und genauesten Möglichkeiten etabliert. Besonders die direkt schreibende Grauton-Lithographie bietet die Möglichkeit mikrooptische Strukturen in Größenskalen und Genauigkeiten bis in den Submikrometerbereich herzustellen. Kommerziell verfügbare Anlagen und Geräte basieren auf direkt-schreibender Laserlithographie. Diese scheitern häufig an der präzisen Strukturierung von Fotoresistschichten von mehr als 20  $\mu\text{m}$  Dicke, was die maximale Pfeilhöhe der erzielbaren Strukturen limitiert. Weitere systembedingte Nachteile sind Schreibspuren und Oberflächenrauheit, die durch das Laser-Rauschen hervorgerufen werden.

Aus diesem Grund wurde am Fraunhofer IOF ein neuartiges Verfahren der Grauton-Lithographie entwickelt, bei dem Hochleistungs-Leuchtdioden im ultravioletten Spektralbereich als Lichtquelle zum Einsatz kommen. Die Belichtungsdosis kann bei diesem Verfahren mit einer Ortsauflösung von wenigen 100 nm mit theoretisch unbegrenzter Dynamik und höchster Genauigkeit kontrolliert werden. Schreibspuren und Belichtungsartefakte werden durch eine spezielle Belichtungsdatenerstellung vermieden, bei der die Belichtungsdosis mit mehr als 100 Megapixeln pro Sekunde in Echtzeit berechnet wird. Ein wesentlicher Vorteil des Verfahrens ist

In the last two decades, the use of micro-optical elements has led to significant advancements in the functionality of optical systems. Realizing such elements demands fabrication methods which allow for the efficient manufacturing of micro-structures of arbitrary geometry and with precision in the nanometer range. Lithographic techniques have proven to be most flexible and accurate with respect to these demands. In particular, direct writing grayscale lithography offers the possibility to generate such structures down to a sub-micron scale in size and accuracy. Commercially available systems are based on direct writing laser lithography. Limits of this technology are frequently the maximum thickness of the resist layer at around 20  $\mu\text{m}$  and writing artifacts due to stitching and laser noise.

Consequently, a novel approach for grayscale lithography based on high-power ultraviolet LED illumination was developed at the Fraunhofer IOF. The exposure dose can be controlled with a spatial resolution of only a few hundred nanometers with a theoretically infinite dynamic range and accuracy in the sub-percentage range. This is achieved by accurate control of the exposure time, as well as the intensity distribution on the substrate which is generated by a tailored optical system and illumination. Artifacts and traces of the exposure regime are compensated by highly developed online data preparation which generates more than 100 million pixels per second in real-time. Another major advantage of this new concept is the substantial reduction of the maximum intensity during exposure compared to laser lithography, by approximately 5 orders of magnitude. This enables high

**1** *Belichtung dicker Lackschichten in der LED-Lithographieanlage. | Exposure of thick photoresist in the LED based microlithography tool.*

eine Reduktion der Spitzenintensität bei der Belichtung um ca. fünf Größenordnungen gegenüber der Laserlithographie, wodurch unerwünschte thermische und chemische Reaktionen des Photoresists vermieden werden. Unter anderem lassen sich dadurch auch Resistschichten von über 100 µm Dicke strukturieren.

Unter Verwendung dieser neu entwickelten Technologie wurde am Fraunhofer IOF in weniger als einem Jahr eine produktions-taugliche Anlage aufgebaut, die bereits erfolgreich zur Herstellung von sphärischen, asphärischen und irregulären Mikrolinsenarrays, von Gitterstrukturen auf ebenen und gekrümmten Oberflächen sowie diffraktiven und refraktiven Strahlformern eingesetzt wurde. Es können mikrostrukturierte Oberflächen mit einer Geschwindigkeit von ca. 100 cm<sup>2</sup>/h hergestellt werden. Die minimal erreichbare Strukturgröße liegt derzeit bei ca. 400 nm. Die maximale Abmessung der zu strukturierenden Oberfläche beträgt derzeit ca. 300 cm. Weiterhin ist die Strukturierung von gekrümmten Oberflächen mit Abweichungen von <10° von der Ebene möglich.

reproducibility of the process by avoiding unwanted thermal and chemical reactions of the photoresist. It is also possible to process resist layers with a thickness beyond 100 µm.

Using this new concept, a lithography system was built up in less than a year and ready for production in mid-2014. This system has now been successfully used to fabricate spherical, aspherical and irregular micro-lens arrays, grating structures on plane and curved substrates and diffractive and refractive beam shapers. The system can fabricate micro-structured surfaces with a structuring speed of more than 100 cm<sup>2</sup>/h. The minimum achievable structure size is approximately 400 nm. The maximum extension of the structured substrate is currently approximately 300 cm. Moreover, the structuring of curved surfaces with an angular deviation of up to 10° from the plane is possible.

#### **AUTHORS**

Hans-Christoph Eckstein

Marko Stumpf

Philipp Schleicher

Ralf Rosenberger

Uwe D. Zeitner

#### **CONTACT**

Dr. Hans-Christoph Eckstein

Phone +49 3641 807-439

[christoph.eckstein@iof.fraunhofer.de](mailto:christoph.eckstein@iof.fraunhofer.de)