



1

FREIFORMBEARBEITUNG VON MIKROOPTIKEN AUF GEKRÜMMTEN OBERFLÄCHEN

FREEFORM MANUFACTURING OF MICROOPTICS ON CURVED SURFACES

Die Herstellung akkurater Optikkomponenten für die Strahlformung, Abbildung und Beugung von Licht durch Ultrapräzisionsbearbeitung ist ein etabliertes Verfahren. Neben klassischen Produkten wie Spiegeln, Gittern oder Linsen können auch dreidimensionale mikrooptische Strukturen mit Diamantwerkzeugen hervorragend geschnitten werden. Viele Geometrien, die mit lithographischen Verfahren wie z. B. der Photo-, Grauton- oder Laserlithographie nur schwer oder gar nicht strukturierbar sind, können durch spanabhebende Verfahren mit kleinen Werkzeugen in optischer Qualität hergestellt werden [1].

Da diese dreidimensionalen Strukturen keine Rotationssymmetrie, sondern einen hochfrequenten asymmetrischen Anteil aufweisen, werden sie als Freiformgeometrien bezeichnet. Bei Abweichungen von der Rotationssymmetrie im Bereich einiger Mikrometer bis in den Millimeter-Bereich werden die optischen Flächen auf einer klassischen ultrapräzisen Drehmaschine mit einem zusätzlichen Hub des Bearbeitungswerkzeugs gefertigt. Das Diamantwerkzeug wird synchron zur Winkellage der späteren Freiformfläche gesteuert.

Accurate optical components for beam shaping, imaging, and diffraction of light are manufactured by established processes such as ultra-precision machining. In addition to fabrication of metal mirrors, lenses, or two-dimensional (2D)-gratings, diamond tools can also be engaged to create three-dimensional (3D) microoptical structures. As a result, geometries that are difficult or impossible to manufacture using 2½-D lithographic techniques such as photo-, gray tone or laser lithography might be fabricated using ultra-precision machining and small diamond tools with well defined cutting edges [1].

Since these 3D structures show no rotational symmetry but rather high frequency asymmetric features, they are sometimes called freeform geometries. The deviations from the rotationally symmetric reference features such as a sphere range from a few μm to mm or higher are manufactured on an ultra-precision lathe with additional strokes of the machining tool. The stroke of the diamond tool is synchronized to the angular position of the freeform surface in the machine's workpiece spindle.

1 *Optischer Freiformeinsatz für ein Spritzgusswerkzeug.*

1 *Optical free-form insert for an injection molding tool.*

Die Vor- und Rückbewegung erfolgt durch Ansteuerung der massiven Zustellachse selbst (Slow Tool Servo – STS), oder es wird eine zusätzliche redundante Kinematik mit geringem Massenträgheitsmoment (Fast Tool Servo – FTS) genutzt. Für hochfrequente Freiformanteile wird die FTS-Technologie bevorzugt eingesetzt.

Das in Abb. 1 dargestellte Linsenarray ist der Formeinsatz eines Spritzgießwerkzeugs, dessen abgeformtes Kunststofflinsenarray später als 3D-mikrooptisches abbildendes Element zum Transfer einer ebenen Maske auf eine gekrümmte Substratoberfläche mittels eines Lithographieprozesses dient [2]. Der Formeinsatz selbst enthält 1219 sphärische Einzellinsen, deren Scheitelpunkte auf einer gemeinsamen Kugeloberfläche angeordnet sind.

Um die 3D-Fläche mit dem hochfrequenten Freiformanteil in ein für die Bearbeitungsmaschine verständliches Format zu übertragen, wird die nicht stetig differenzierbare Oberfläche an 25,2 Millionen Punkten entwickelt. Anhand dieser Punktwolke wird eine Korrektur des Werkzeugradius vorgenommen, um der Schneidengeometrie Rechnung zu tragen. Unstetigkeiten des Schnittpfades aufgrund sprunghafter Änderungen des Anstiegs der Zielfläche werden durch eine Spline-Interpolation geschlossen. Die in Abb. 2 dargestellte Zustellung des FTS-Systems in Abhängigkeit von Winkel und Radius, überlagert von der gekrümmten Schnittbahn des rotations-symmetrischen Anteils, bildet so die Geometrieinformation zur Herstellung des mikrooptischen Bauteils.

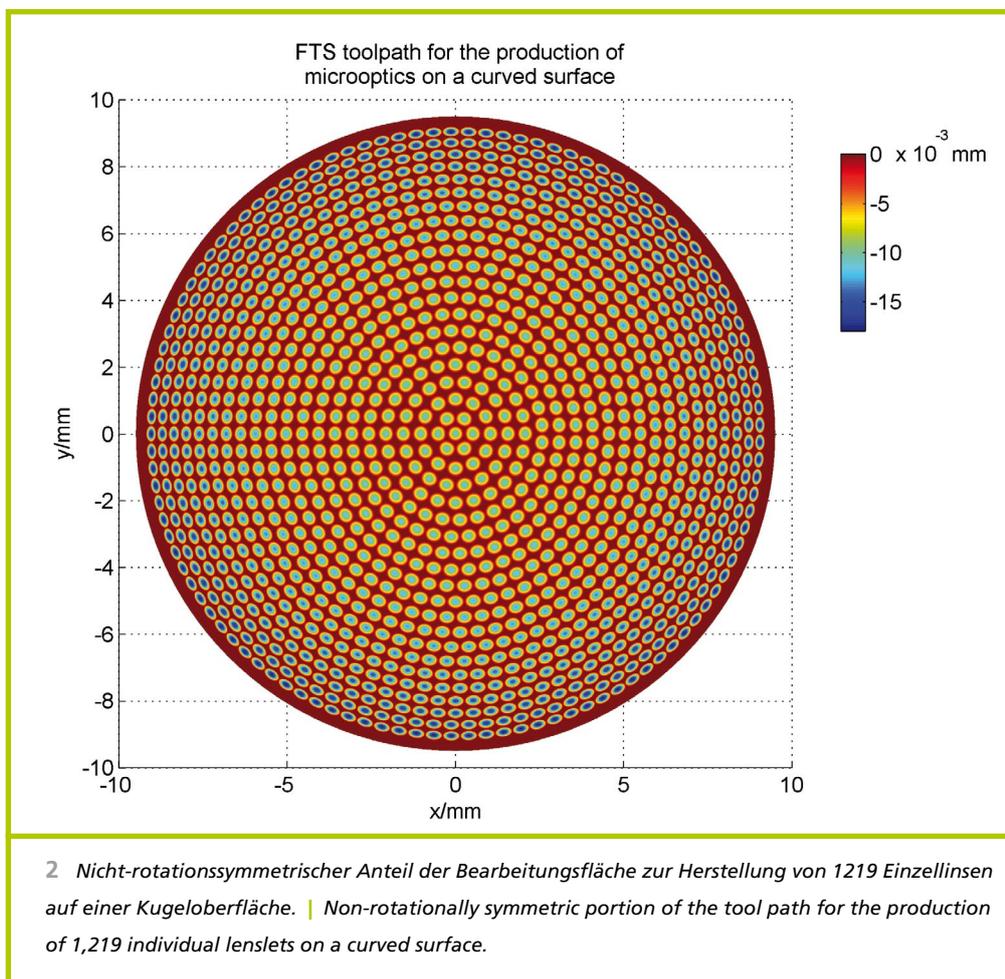
The forward and reverse motion is achieved either by the massive feed axis itself (Slow Tool Servo – STS), or an additional kinematics tool holder of low inertia (Fast Tool Servo – FTS). For high-frequency freeform geometries, the FTS technology is generally preferred.

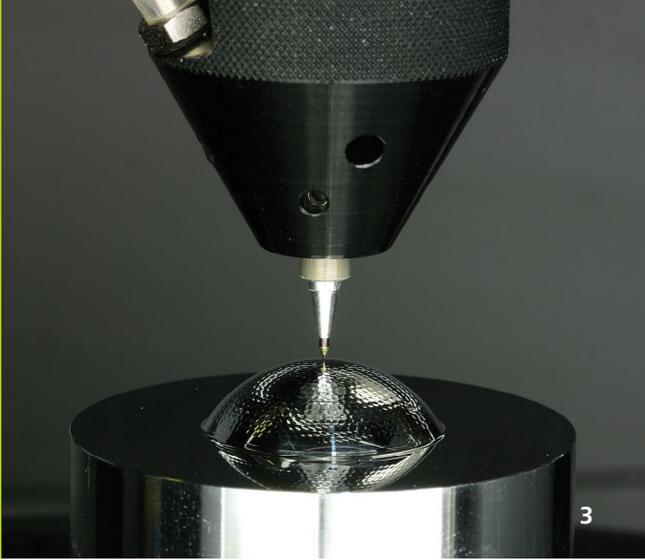
The lens array shown in Fig. 1 is a mold insert for an injection molding tool. The molded plastic lens array is used later as a 3D microoptical imaging element to transfer features from a plane mask onto a curved substrate using lithographic process [2]. The mold insert contains 1,219 single spherical lenslets whose vertices are arranged on a spherical surface.

To transfer the 3D surface data with the high-frequency freeform features into a numerical code for machining, the piecewise-differentiable surface is calculated on 25.2 million supporting points. Based on this point cloud, the tool radius correction is made to account for the cutting-edge geometry. Discontinuities of the cutting tool locations due to abrupt changes of the slope of the target surface are closed using a Spline interpolation. Superimposed with the curved trajectory of the rotationally symmetric portion the geometric information for the production of this microoptical component is established.

Die Bearbeitungszeit von nur 80 Minuten für einen Formein-
satz aus einer spritzgussfähigen Aluminiumlegierung sowie die
Oberflächenqualität von 4 nm (rms) zeigen die gute Einsetz-
barkeit des UP-Zerspanungsprozesses für die Strukturierung
dieser kleinen freiformbasierten Optiken. Die Replikation durch
Spritzgießen eröffnet die Möglichkeit der effizienten und
wirtschaftlichen Vervielfältigung der Geometrien.

The processing time of only 80 minutes for a high strength
Aluminum alloy injection-mold insert and the surface
quality of 4 nm (rms) show the good applicability of the
UP-machining process for the structuring of these small
free-form optics. Replication by injection molding opens up
the possibility to efficiently and economically manifold these
geometries.





Die Ultrapräzisionsbearbeitung schließt somit an den Grenzbereich verschiedener lithographischer Verfahren zum Strukturieren dreidimensionaler Mikrooptiken an. Die Arbeiten sind innerhalb einer Kooperation zwischen der Ohio State University und dem Fraunhofer IOF innerhalb des Programms »PROF.x²« entstanden.

Literatur/References

- [1] Scheiding, S.; Gebhardt, A.: Micro Lens Array Milling on Waferscale Using an Ultra Precision Lathe, OptoNet Workshop: Ultra Precision Manufacturing of Aspheres and Freeforms, 2010, Jena.
- [2] Yi, A.; Li, L.: Microfabrication on a curved surface using 3D microlens array projection, Journal of micromechanics and microengineering, 2009.

The ultra-precision machining thus is an adequate addition to lithography for structuring three-dimensional micro-optics. These solutions were developed within collaboration between the Ohio State University and the Fraunhofer IOF in the program "PROF.x²".

AUTHORS

Sebastian Scheiding
Allen Yi¹

¹ *The Ohio State University*
Industrial and Systems Engineering
USA

CONTACT

Dipl.-Ing. Sebastian Scheiding
Phone +49 3641 807-353
sebastian.scheiding@iof.fraunhofer.de

Dr. Ramona Eberhardt
Phone +49 3641 807-312
ramona.eberhardt@iof.fraunhofer.de

3 *Taktile Messung der Formabweichung des Freiformarrays mit einer UA3P von Panasonic. | Tactile form measurement of the microoptical lens array on a curved substrate with the UA3P from Panasonic.*