

Blankpressen von Glas als Technologie für Mikro- und Nanooptik



Peter Dannberg



Gilbert Leibeling



Wieland Stöckl



Andreas Gebhardt

Mikrooptische Elemente aus Glas gewährleisten hervorragende Transparenz, Homogenität, Oberflächenpräzision und Stabilität und sind damit favorisiert bei Anwendungen im UV oder mit Hochleistungslasern. Ziel der vorliegenden Untersuchungen war die Nutzung kommerzieller Glaspresstechnologie für die Herstellung dieser Elemente mit Blick auf Strukturauflösung/ Strukturtreue, Ebenheit, Vorder-Rückseitenjustage und optischer Leistungsparameter wie Beugungs- oder Koppelaktivität.

In die Untersuchungen eingeschlossen war die Herstellung entsprechender Werkzeuge, insbesondere von lithografisch erzeugten Mastern. Da sich durch Ultrapräzisions (UP)-Diamantschleifen von z. B. Wolframkarbid Mikrostrukturen nicht erzeugen lassen, wurden zwei Wege beschritten: erstens die spanende Bearbeitung von Nickelphosphorschichten und zweitens das galvanische Aufwachsen von Nickel auf lithografisch erzeugten Mikrostrukturen. Die daraus folgende Beschränkung auf wenige bei $\sim 400^\circ\text{C}$ pressbare Gläser lässt sich mit typischen Randbedingungen der Mikrooptik (Laser- bzw. monochromatische Lichtquellen, oftmals keine abbildende Optik, (sub-) μm -Strukturen) durchaus vereinbaren.

Mit beiden Verfahren konnten erfolgreich Abformwerkzeuge erzeugt werden. Um die Strukturtreue auch bei sehr feinen lithografischen Strukturen zu gewährleisten, wurde dabei die Galvanik-Startschicht so ausgelegt, dass sie gleichzeitig als Trennschicht bei der Abformung dienen kann. Zum Einsatz kam eine kommerzielle Glaspresse (Toshiba GMP 311V); Zykluszeiten für die verwendeten Gläser liegen typisch bei 10 – 15 Minuten. Im Anschluss an die Abformung erfolgte eine Nachbearbeitung, z. B. die Vereinzelung auf

einer Wafersäge. Die Optimierung der Geometrie des gepressten Elements besteht in der Vorkompensation der lateralen Geometrie (z. B. beim Maskenentwurf), in der Optimierung der Temperaturprofile zur Minimierung von Durchbiegungen sowie in der lateralen und axialen Justage bei beidseitigen Elementen. Auf eine Kompensation von Profilverfälschungen kann bei den geringen Strukturhöhen von $< 100\ \mu\text{m}$ verzichtet werden.

In einem ersten Anwendungsbeispiel wurde die Beugungseffektivität gepresster optischer Blaze-Gitter mit der laserlithografisch hergestellten Masterstrukturen verglichen. Bis zu den kleinsten Perioden von $5\ \mu\text{m}$ gab es keine messbaren Differenzen, was eine sub- μm formtreue Kopie des Gitterprofils bedeutet.

Die Durchbiegung über $30\ \text{mm}$ Gitterlänge konnte auf $< 300\ \text{nm}$ reduziert werden. Selbst die Abformung von Mottenaugenstrukturen zur Entspiegelung ergab erst unterhalb $500\ \text{nm}$ Wellenlänge $\sim 1\%$ geringere Transmission als bei der Masterstruktur. Wichtiges Einsatzgebiet der Elemente ist die Strahlformung von Hochleistungs-Laserdioden.

Abbildung 1 zeigt Ansicht und Wellenfrontfehler eines beidseitig gepressten Zylinderlinsenteleskopes (»Beam-Twister«). Die Linsenform (Werkzeug durch UP-Diamantbearbeitung) ist beugungsbegrenzt, der Restfehler entspricht einer axialen Dejustage von $< 10\ \mu\text{m}$. Weiterhin realisiert wurden bisher diffraktive Redirektor-Elemente sowie Slow-Axis Kollimationslinsen.

Glass molding as technology for micro- and nano-optics

Glass microoptical elements show outstanding optical transparency, homogeneity, surface precision and stability, making them ideal candidates for use in UV- or high power laser applications. The aim of the present investigation was the evaluation of commercial glass molding equipment for microoptics fabrication in terms of resolution, precision, flatness, top to backside alignment as well as corresponding optical parameters such as diffraction or coupling efficiency. The study also included the generation of replication tools, especially on the basis of lithographical master structures. As the ultra precision (UP) diamond grinding of materials like Tungsten carbide is not capable of generation microstructures, two alternative methods were tried: (i) UP machining of nickel phosphorus, and (ii) replication of lithographical features by Nickel electroplating. Consequently, the choice of glasses is limited to a few that can be processed at $\sim 400^\circ\text{C}$. However, this is not critical in view of typical microoptics requirements like laser/ monochromatic illumination, non-imaging optics, and (sub-) μm features.

Molding tools could be successfully produced using both approaches; in the case of electroplating the initially sputtered metal layer could simultaneously be used as a release layer in the molding process in order to maintain nanometer precision of the molded feature geometry. For the molding itself a commercial glass molding press was used (Toshiba GMP 311V) with typical cycle times of 10 to 15 min. After molding, post processing (e.g. dicing on a wafer saw) was carried out.

Optimization of the geometry of the molded part was carried out mainly by pre-compensation of the lateral geometry (e.g. in the mask layout), by optimization of the temperature profile in order to minimize bowing as well as in the lateral and axial alignment of front to backside; a compensation of profile deviations is not necessary at the moderate structure depths below $100\ \mu\text{m}$.

In a first application example the diffraction efficiency of molded blazed gratings was compared to that of the master structures fabricated by laser lithography; there was no significant difference down to the smallest periods of $5\ \mu\text{m}$ corresponding to a sub- μm accuracy of the molded profile. Even the replication of anti-reflecting moth-eye patterns showed only a small drop in the sample transmission ($\sim 1\%$) below $500\ \text{nm}$ wavelength compared to the master structure. The bow across $30\ \text{mm}$ long samples was reduced below $300\ \text{nm}$.

A major application of the elements is the beam forming of high power laser diode bars. As an example, geometry and wavefront measurement plot of

a double sided cylindrical microlens array ("beam twister") is shown in Fig. 1. The remaining deviation corresponds to a defocus of $< 10\ \mu\text{m}$ whereas the lenslets themselves (tool fabricated by UP machining) are diffraction limited.

Furthermore, diffractive redirector elements as well as lens arrays for slow axis collimation were realized.

Abb. 1: Beam-twisting Teleskop-Arrays zur Laserstrahlformung: Geometrie, einzelner Chip sowie gemessene Wellenfront eines einzelnen Teleskopes bei $850\ \text{nm}$.

Fig. 1: Beam twisting telescope arrays for laser beam forming: sketch of geometry, single chip, and measured wavefront of a single telescope at $850\ \text{nm}$.

