



Ralf Steinkopf



Andreas Gebhardt



Stefan Risse

Technologien der Ultrapräzisionsbearbeitung ermöglichen, das Spektrum der sphärischen Elemente in optischen Systemen um asphärische Komponenten zu erweitern. Auf diese Weise werden kompakte Designs realisiert, in welchen die Abbildungsfehler und gleichzeitig die Anzahl der optischen Bauelemente reduziert werden. Attraktives Beispiel sind miniaturisierte Kameras in mobilen Telefonen.

Optische Elemente ohne Rotations-symmetrie, sogenannte Freiformen, ermöglichen nicht nur miniaturisiertere Bauformen, sondern eröffnen die Möglichkeit, neue Anwendungsfelder zu erschließen. Der zusätzliche Freiheitsgrad ist jedoch mit einem erheblichen Mehraufwand sowohl im Design als auch in der Fertigung verbunden. Aus diesem Grund werden Freiformen insbesondere für Volumenmärkte nachgefragt, wo hohe Stückzahlen den Einsatz von Replikationswerkzeugen erfordern. Anwendungsbeispiele finden sich in der Automobilindustrie (Head-Up Displays) oder Telekommunikation (Head-Mounted Displays). Andererseits werden Einzelstücke mit außerordentlicher Performance, die die hohen Kosten rechtfertigen, basierend auf dieser Technologie entwickelt, beispielsweise für Luft- und Raumfahrt-Anwendungen (Teleskopspiegel).



Abb. 1:
Fast Tool Servo Turning.

Fig. 1:
Fast tool servo turning.

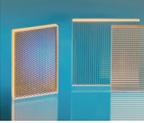
Im Fraunhofer IOF werden Freiformflächen, basierend auf verschiedenen Verfahren der Ultrapräzisionsbearbeitung, erzeugt. Unterschieden werden diese durch die Art der Maschinenkinematik sowie der Relativbewegung von Werkzeug zu Werkstück:

- Hobeln,
- Servo Turning (Abb. 1) und
- Fräsen.

Je nach Gestalt der Bauteile und der Anforderungen an die Oberfläche wird ein geeignetes Verfahren ausgewählt.

Für Bauteile mit kleinen Abmessungen aber steil ansteigenden Flanken ist Hobeln als Bearbeitungsverfahren geeignet. Das Diamantwerkzeug bewegt sich zeilenförmig über die Oberfläche des Bauteils. Bei Abrastung großer Flächen resultieren zum Teil sehr lange Prozesszeiten. Um diese zu begrenzen, kann die Fläche auch im Slow-Tool-Servo-Modus, einer Variante des Drehens, realisiert werden. Im Unterschied zum »normalen« Drehprozess, bei welchem zwei Linearachsen angesteuert werden, werden für die Freiformbearbeitung die Linearachsen mit einer Rotationsachse synchronisiert. Auf diese Weise lassen sich große Bauteile bearbeiten, deren Abweichung zur Rotationssymmetrie durchaus im Bereich mehrerer Millimeter liegen kann (Abb. 2). Freiformen mit geringer Abweichung zur Rotationssymmetrie, die im Gegensatz aber hochfrequent sein kann, werden mit dem Fast-Tool-Servo, einer schnellen Linearachse, bearbeitet (Abb. 3).

Die Bewertung der optischen Flächen erfolgt interferometrisch mittels im Fraunhofer IOF erzeugter Computer-generierter Hologramme (CGH) oder mittels Profilometer im taktilen Flächenscan. Im Ergebnis werden typischerweise Formabweichungen im sub-Mikrometerbereich erzeugt (Abb. 4).



Spherical optics is widely becoming replaced by aspherical optics, often machined by means of single point diamond turning. The benefit gained from using aspherical optics is reduced aberrations and thereby the number of optical components. Miniaturized cameras in mobile phones are attractive examples.

Optical elements without rotational symmetry, "freeforms", allow not only miniaturized designs but open up the way for new areas of application. Freeform elements offer remarkable opportunities for new optics, but additional expenses in design and manufacturing should be calculated. Mass markets with a demand for replication tools offer the potential capacity for competitive units. Application examples can be found in the automotive industry (head-up displays), or telecommunications (head-mounted displays). In other cases, unique examples, such as aerospace applications (telescope mirrors), out-fitted with extraordinary performance, justify the high cost based on this technology.

At Fraunhofer IOF, freeform applications based on various technologies of diamond machining are being manufactured. Machine kinematics and the relative motion between tool and workpiece make all the difference in the machining process.

The technologies are:

- ruling,
- servo turning (Fig. 1)
- and milling.

Depending on the shape of the components and the requirements of the surface, an appropriate procedure is chosen. Components with small dimensions but steep slopes are machined by a process called ruling.

The diamond tool moves in a raster pattern over the surface of the component. Nevertheless, rastering of large areas sometimes causes long process times. To reduce this effect such parts become machined in slow tool servo mode, a variant of turning. In contrast to the „normal“ turning process, in which two controlled linear axes and one non-controlled rotary axis work together, in slow tool mode a rotary axis is synchronized with two linear axes. Large components, even with asymmetrical shapes in the range of several millimetres (Fig. 2), are also possible. Components with high frequency asymmetries are machined with fast tool servo, an additional and also synchronized linear axis (Fig. 3).

The optical surfaces can be evaluated interferometrically with computer-generated holograms (CGH), made at Fraunhofer IOF, or via profilometer in 3D scans. The typical result is a form deviation in the sub-micron range (Fig. 4).

Abb. 2: Beispiel eines Freiformspiegels, erzeugt durch Servo Turning.

Fig. 2: Example of a freeform mirror made by servo turning.



Abb. 3: Freiformoptik für die Strahlformung inkohärenter Quellen (LED).

Fig. 3: Freeform optics for incoherent beam shaping.

Abb. 4: Formabweichung eines gehobelten Freiformspiegels.

Fig. 4: Form deviation of a freeform mirror.

