

Streulicht-Messverfahren für Gitter und diamantgedrehte Oberflächen



Stefan Gliech



Ronny Wendt



Angela Duparré

Die rasanten Entwicklungen in der Mikro- und Nanotechnologie stellen neuartige Herausforderungen an die Oberflächen-Messtechnik. Dies gilt besonders auch für eine sensitive, effiziente und vor allem funktionsrelevante Bewertung von Oberflächen mit anisotropen Mikro- und Nanostrukturen. Das können gewollte Strukturen sein, wie z. B. bei Gittern. Im anderen Fall entstehen bei der Ultrapräzisions (UP)-Bearbeitung von Oberflächen z. B. durch Diamantdrehen ungewollte Struktureffekte als Abweichung von der beabsichtigten superglatten Fläche. Mit den am Fraunhofer IOF Jena entwickelten Streulichttechniken /1/, /2/ wurden Verfahren zur Messung anisotroper Strukturen realisiert, die diesen Forderungen entsprechen.

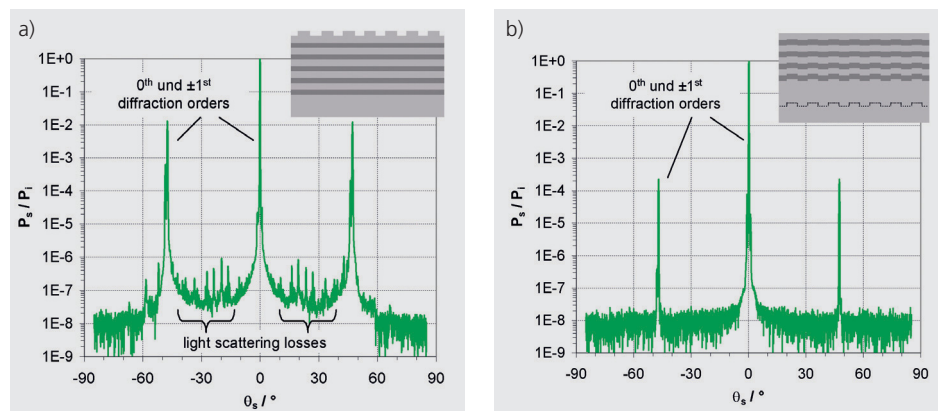
Abbildung 1 zeigt beispielhaft das Ergebnis für die Optimierung eines verlustarmen Hochleistungsgitters für die Gravitationswellen-Astronomie bei 1064 nm /3/. Der notwendige Dynamikbereich der Messung lag bei acht Größenordnungen, die erforderliche Winkelauflösung bei 0,01°.

Profilometrische Messungen an UP-bearbeiteten optischen Funktionsflächen liefern Informationen über Rauheiten zunächst ohne Bezug zu deren Wirkung (Abb. 2). Das streulichtbasierte Verfahren des Fraunhofer IOF ermöglicht dagegen die Bestimmung von Rauheitsanteilen direkt entsprechend ihres Einflusses. Beispielhaft offenbaren winkelaufgelöste Streulichtmessungen an einer diamantgedrehten Nickeloberfläche /4/ in Abb. 3, dass die deutliche Rillenstruktur nicht automatisch die dominierende Rauheit bedeutet, sondern sowohl »Jitter« (Rattermarken) als auch isotrope Grundrauheit in Betracht zu ziehen sind. Darüber hinaus verdeutlicht eine flächenhafte totale Streulichtmessung die radiale Inhomogenität der Strukturen (Abb. 4).

Auf diese Weise können dann in Zusammenhang mit der jeweiligen optischen Spezifikation »Rangfolgen« für die Optimierung des Herstellungsprozesses definiert und die Rauheitsbeiträge gezielt reduziert werden.

Abb. 1: Winkelaufgelöste Streulichtmessung an Gitterstrukturen (strukturierte Schichtsysteme als Cavity-Koppler für die Gravitationswellen-Astronomie bei 1064 nm). a) vor der Optimierung, b) danach.

Fig. 1: Angle resolved scatter measurement of grating structures (structured thin film systems for cavity copplers for gravitational wave astronomy at 1064 nm). a) prior to optimization, b) afterwards.



Scatter measurement techniques for gratings and diamond turned surfaces

The tremendous development of micro- and nanotechnologies has resulted in novel challenges for surface measurement techniques. This holds in particular for a sensitive, efficient and functional assessment of surfaces with anisotropic micro- and nanostructures. Such structures can be deliberately produced, e. g. for gratings. In the opposite case, e. g. in ultraprecision surface finish processes like diamond turning, undesirable structures occur as deviations from the intended supersmooth surface. With the scatter techniques developed at the Fraunhofer IOF in Jena /1/, /2/, the required measurements of anisotropic structures have become possible.

Figure 1 shows an example of optimization of low-loss high-performance gratings for use in gravitational wave astronomy at 1 064 nm /3/. For this type of measurement, a dynamic range of 8 orders of magnitude was necessary along with an angle resolution of 0.01°.

Profilometric measurements of ultra-precision optical surfaces provide roughness parameters without reference to their optical effect (Fig. 2). The scatter based method of the Fraunhofer IOF however enables the determination of roughness contributions directly according to their influence. Angle resolved scatter measurements of a diamond turned nickel surface /4/ reveal an interesting effect (Fig. 3): the obvious groove structure is not tantamount to dominating roughness; jitter as well as isotropic background roughness must also be taken into account. In addition, area scanning total scatter measurement illustrated the radial inhomogeneity of the surface structures (Fig. 4).

Based on such investigations and the optical specifications, "rank orders" for the optimization of the fabrication process can be defined and the roughness contributions can be deliberately reduced.

References:

- /1/ Glied, S.; Duparré, A.: "Light Scatter Technique for Application in Optics, Nanotechnology, and Engineering", VDI-Berichte Nr. 1844 (2004) 31–37.
- /2/ Duparré, A.: "Scattering from Surfaces and thin Films", Encyclopedia of Modern Optics, eds. R. D. Guenther et al. Elsevier, Oxford (2004) 314–321.
- /3/ Clausnitzer, T.; Kley, E.-B.; Tünnermann, A.; Bunkowski, A.; Burmeister, O.; Danzmann, K.; Schnabel, R.; Glied, S.; Duparré, A.: "Ultra low-loss low-efficiency diffraction gratings", Optics express 13 (2005) 4370–4378.
- /4/ Fabrication: A. Gebhardt, R. Steinkopf, Fraunhofer IOF Jena.

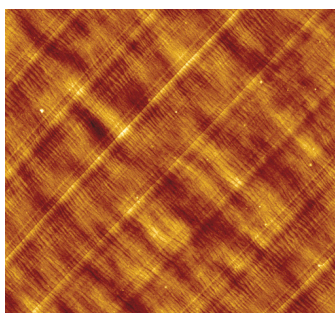


Abb. 2: Oberflächenprofil einer diamantgedrehten Nickeloberfläche. AFM-Messung, 10 x 10 μm², Höhenskala: 10 nm.

Fig. 2: Surface profile of a diamond turned nickel surface. AFM measurement, 10 x 10 μm², height scale: 10 nm.

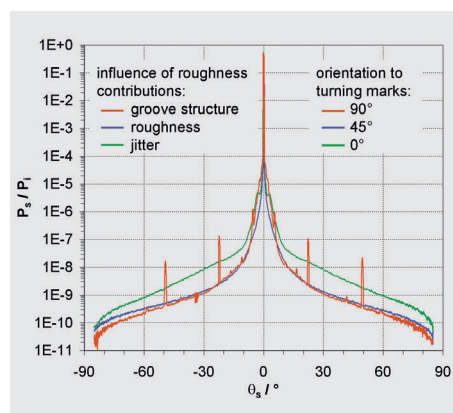


Abb. 3: Winkelaufgelöste Streulichtmessungen (633 nm) an der diamantgedrehten Nickeloberfläche aus Abb. 2.

Fig. 3: Angle resolved scatter measurements (633 nm) of the diamond turned nickel surface of Fig. 2.

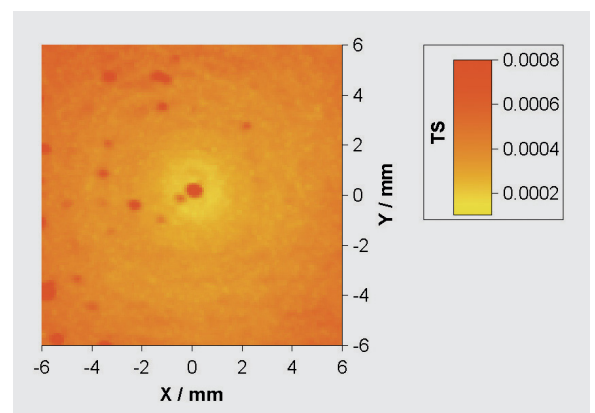


Abb. 4: Totale Streulichtmessung (633 nm) an der diamantgedrehten Nickeloberfläche aus Abb. 2.

Fig. 4: Total scatter measurement (633 nm) of the diamond turned nickel surface of Fig. 2.