

Strukturierungsfehler diffraktiv optischer Elemente

A. Berger¹, I. Harder², O. Lohse², N. Lindlein¹

¹Universität Erlangen-Nürnberg, Institut für Optik, Information und Photonik, Erlangen
²Max Planck Institut für die Physik des Lichts, Erlangen

irina.harder@mpl.mpg.de

MOTIVATION

Diffraktiv optische Elemente (DOEs) finden in ihrer Funktion als Strahl- bzw. Wellenfrontformer in verschiedensten Messaufgaben Verwendung. Bedingt durch das Herstellungsverfahren weisen DOEs systematische Aberrationen bezüglich Ihrer Sollwirkung auf. Substrat- und Strukturfehler stellen hierbei die Ursachen dieser Aberrationen dar. Hier werden nur Strukturfehler betrachtet, welche durch die direkt schreibende Lithographie entstehen. Durch die Verwendung von direkt geschriebenen, binären Amplituden-DOEs werden zusätzliche Strukturfehler aufgrund weiterer Prozessschritte vermieden.

Belichtungsprozess:

- Positionierung des zu belichtenden Substrats erfolgt mittels interferometrischer Positionskontrolle ($\sigma < 10\text{nm}$).
- Belichtungsstrategien der verschiedenen, verwendeten direkt schreibenden Lithographieanlagen:
 1. Streifenweise Belichtung mittels Laserlithographie
 2. Feldweise Belichtung mittels Elektronenstrahlolithographie
 3. Pfadbelichtung mittels Elektronenstrahlolithographie mit feststehendem Strahl
- Systematische und zufällige Positionierungsfehler während der Belichtung → Lokale und globale Strukturfehler
- Anschlussfehler Felder/Streifen (*Stitching*): Mikroskopische Inspektion
- Globale und lokale Positionierung des Substrats: Vorhergehende *Golden Plate* Messung und Kalibration

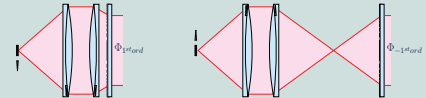


Messung:

- Messung der Phasenfehler aufgrund von Strukturfehler eines binären, sphärischen Amplituden DOEs
- Mach-Zehnder Interferometer (→ Vortrag A9, Mi 17 : 15, [1]) zur Phasenmessung im Durchlicht
- Messung der ± 1 . Beugungsordnung [2] → Phasenfehler

$$\Phi_{doe} = \frac{1}{2}((\Phi_{1^{ord}} - \Phi_{maf,1^{ord}}) - (\Phi_{-1^{ord}} - \Phi_{maf,-1^{ord}}))$$

- Verknüpfung zwischen Defektor und DOE kann astigmatischen Fehler hervorruft ⇒ gute Justage und Rotationsmittlung Φ_{doe}



SIMULATION DER PHASENFehler AUFGRUND VON STRUKTURFEHLERN

Typische Quellen für Strukturfehler

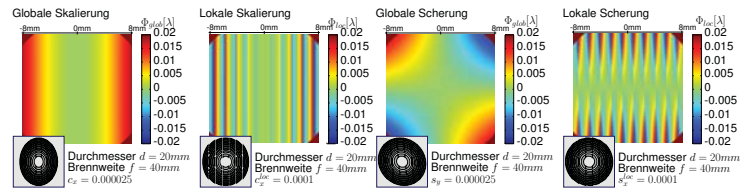
- Deflektorwinkel → Skalierung (lokal)
- Deflektorrotation → Scherung und Skalierung (lokal)
- Positionskontrolle des Elements → Fehlpositionierung (lokal)
- Achsenfehler (Interferometer) → Scherung und Skalierung (global)
- Spiegeldeformation (Interferometer), Strahldrift, Vibrationen, ... (lokal und global) ⇒ Globale and lokale Phasenfehler

Phasenfehler aufgrund von Strukturfehlern:

$$\Phi_{doe}(\vec{r}) = \Psi(\vec{r}) - \Psi(\vec{r} + \vec{\epsilon}) \approx -\vec{\nabla}\Psi(\vec{r}) \cdot \vec{\epsilon} = -|\vec{\nabla}\Psi(\vec{r})| |\vec{\epsilon}| \cos(\Omega)$$

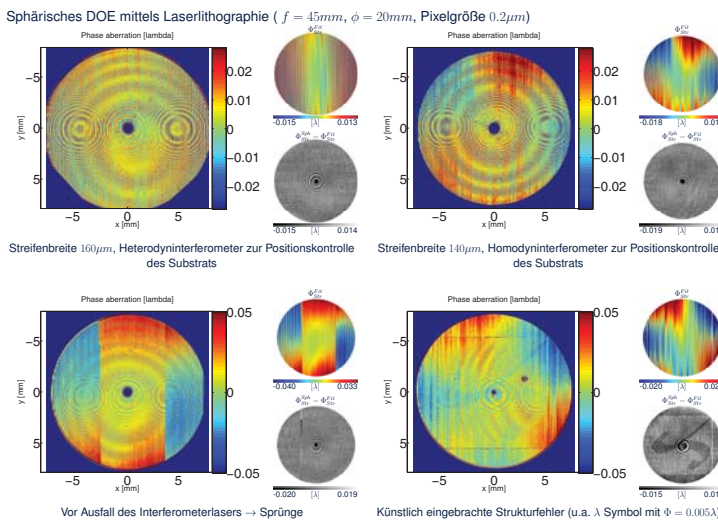
→ Skaliert mit Periode und Orientierung der Verschiebung relativ zu lokalen Gitter

Simulation Phasenfehler sphärisches DOE (streifenweise Belichtung)

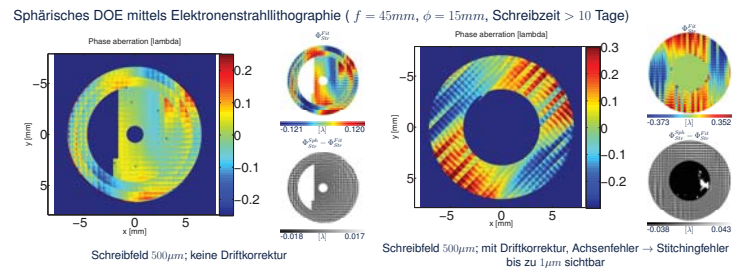


Phasenfehler eines sphärischen DOEs $\Phi_{doe}(\vec{r}) = \frac{1}{\sqrt{f^2 + r^2}}((1 + c_x)^2 + (1 + c_y)^2 + t_x x + t_y y + (s_x + s_y)xy)$
(Vektor des Strukturfehlers $\vec{\epsilon}(c_x, c_y, s_x, s_y, t_x, t_y)$ mit Skalierung c , Scherung s und Verschiebung t)

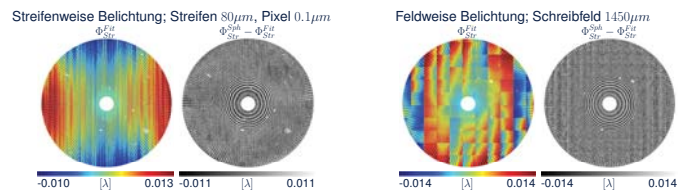
STREIFENWEISE BELICHTUNG



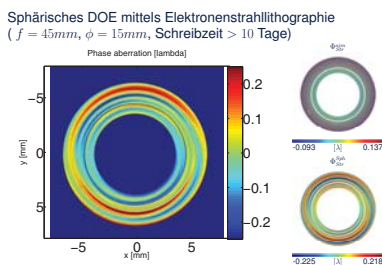
FELDWEISE BELICHTUNG



MASKENHERSTELLER



PFADBELICHTUNG



ZUSAMMENFASSUNG

- Schreibstrategie DOE-Belichtung (orthogonal (hier), radial [2]) → charakteristische Fehler bedingt durch zugrundeliegende Positioniereinheit der Lithographieanlage und zeitlicher Verlauf der Belichtung
- Strukturzerlegung (Streifen, Felder, Ringe) als Phasenfehler messbar, obwohl sie mit den üblichen Methoden zur Charakterisierung der Struktur (optisches Messmikroskop oder SEM → Stitchingfehler) nicht mehr messbar ist
- Langzeitbelichtung: Zerlegung in Ringe und Belichtung der feinen Perioden zuerst, um auch bei vorzeitigem Abbruch auswertbare DOEs mit hoher Empfindlichkeit gegenüber Strukturfehlern zu erhalten
- Kurze Belichtungszeiten: Skalierung und Scherung ⇒ astigmatische Fehler (lokal und global)
- Lange Belichtungszeiten: Zeitliche Drift und ortsfeste Fehler
- Unstetigkeiten
- Vektordaten → Kreis approximiert durch Polygon ⇒ zusätzlicher Strukturfehler

$$\Phi_{design,max} = \frac{\partial}{\partial r}\Psi(\vec{r}) \cdot r(1 - \cos(\frac{\theta}{2}))$$

Typische Phasenfehler aufgrund von Strukturfehlern der DOEs $< \lambda/20$

Abschätzung: $\Delta\Phi_{PV} = 0.035\lambda, p = 4.78\mu\text{m} (r = 6\text{mm}) \Rightarrow \Delta r_{PV} \approx 167\text{nm}$ (lateral)

[1] A. Berger, K. Mantel, I. Harder, N. Lindlein, *Absolute testing of aspherics in transmitted light using an amplitude DOE*, Fringe 2009, the 6th International Workshop on Advanced Optical Metrology, ISBN 978-3-642-03050-5, ed. W. Osten and M. Kujawinska, pp. 364 (2009)
[2] S. Reichelt et al., *Absolute interferometric test of aspheres by use of twin computer-generated holograms*, AO 42, p. 4468, 2003