

Ortsaufgelöste Untersuchung von Volumen hologrammen in photorefraktiven Kristallen

S. Schiffner, S. Lichtenberg, J. Petter, T. Tschudi

Institut für Angewandte Physik, Technische Universität Darmstadt

Hochschulstr. 6, 64289 Darmstadt

<mailto:sebastian.schiffner@physik.tu-darmstadt.de>

Mittels eines Lasers und einer Phasenzelle werden räumlich verschiedene Bragg Gitter in einen photorefraktiven Kristall geschrieben. Diese werden mittels eines IR-Lasers und einer CCD-Kamera ortsaufgelöst aufgenommen. Mit dieser Methode lassen sich nicht nur Variationen im Gitter feststellen, sondern auch auf Phasenobjekte Rückschlüsse ziehen.

1 Einführung und Versuchsaufbau

Wir stellen eine Methode vor, die es erlaubt in photorefraktiven Medien eingeschriebene volumenholografische Bragg Gitter ortsaufgelöst zu vermessen. Damit lassen sich mehrere Weglängenänderungen simultan im nm-Bereich in Echtzeit vermessen.

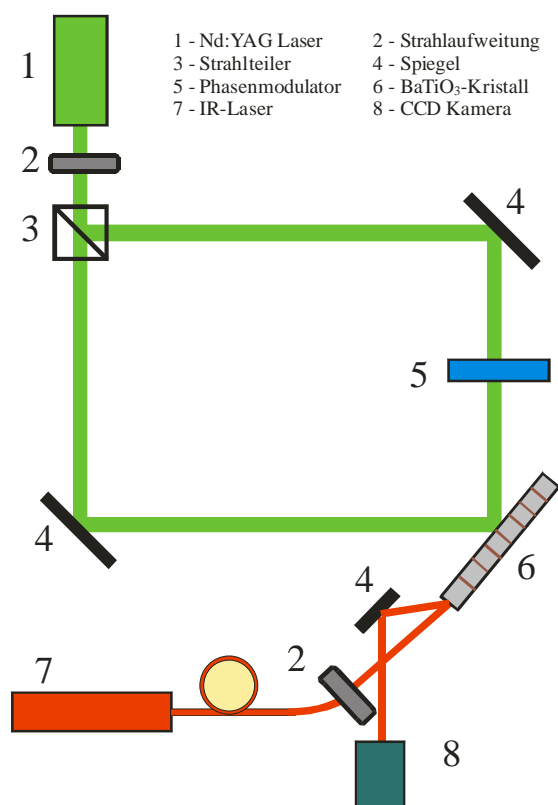


Abb. 1 Versuchsaufbau

Der von uns verwendete experimentelle Aufbau ist in Abbildung 1 dargestellt. Durch die Überlagerung zweier kohärenter Laserstrahlen entsteht in einem BaTiO₃ Kristall (6) durch den photorefraktiver Effekt ein Brechungsindexgitter. Der Strahl des Infrarotlasers (7) wird an diesem Gitter gemäß der

Bragg Bedingung gebeugt und mit einer infrarotsensitiven CCD Kamera (8) aufgenommen. Durch Aufprägen von Phaseninformationen in einem der Aufnahmestrahlen wird das Gitter modifiziert („phase shift keying“ [1]). Wir verwenden dazu eine Phasenzelle (5) mit vier Sektoren, (vgl. Abb. 2) von denen einer einen Phasensprung von 180° induziert.

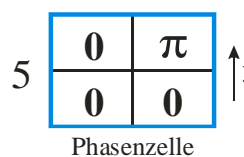


Abb. 2 Aufbau der Phasenzelle

Dadurch erhalten wir im unteren Teil des Kristalls ein homogenes Gitter, während im oberen Teil die Phasenzelle je nach Modulation zu einem Versatz der Gitter $\Delta\Lambda$ führt (vgl. Abb. 3). Es gilt die Bragg Bedingung:

$$\frac{\lambda_w}{2 \sin \theta} = \Lambda = \frac{\lambda_r}{2n}$$

wobei λ_w die Aufnahmewellenlänge, θ der Aufnahme Winkel, λ_r die Auslesewellenlänge, Λ die Gitterperiode und n der Brechungsindex ist.

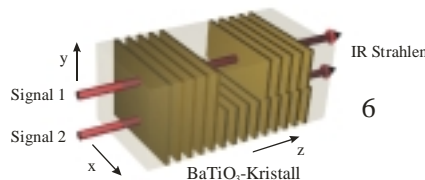


Abb. 3 Der Kristall mit den Beugungsgittern

Die Bragg Gitter werden in Reflexion mit einem durchstimmbaren IR-Laser (zwischen 1456 - 1581 nm) ausgelesen. Der IR-Strahl wird von beiden Gittern gebeugt und die superponierte Amplitude

wird als Funktion der Auslesewellenlänge λ_r aufgenommen. Das Quadrat des gemessenen Amplitudenverhältnisses D ergibt die Transferfunktion $\eta(\lambda)$ der kombinierten Gitter:

$$\eta(\lambda) = \frac{I_{out}}{I_{in}} = |D|^2$$

Wobei I_{out} die reflektierte und I_{in} die eingestrahlte Intensität sind. Mit Hilfe der Transferfunktion kann die so aufgeprägte Phaseninformation wieder gewonnen werden.

2 Experimentelle Ergebnisse

Um ortsaufgelöst Volumenhologramme zu untersuchen weiten wir den Infrarotlaser auf und beobachten mit der CCD Kamera eine Fläche von 2,5 x 2,5 mm. In einer Abstufung von 5 pm wurden so 200 Bilder von $\lambda_r = 1530,6$ nm bis 1531,595 nm aufgenommen. Die in Abb. 4 und 5 gezeigten Plots sind Schnitte aus dem so gewonnenen Datensatz bei einer Höhe von $y = 1,75$ mm und 0,25 mm. Dabei wurden je 5 x 5 Pixel zu einem Wert gemittelt.

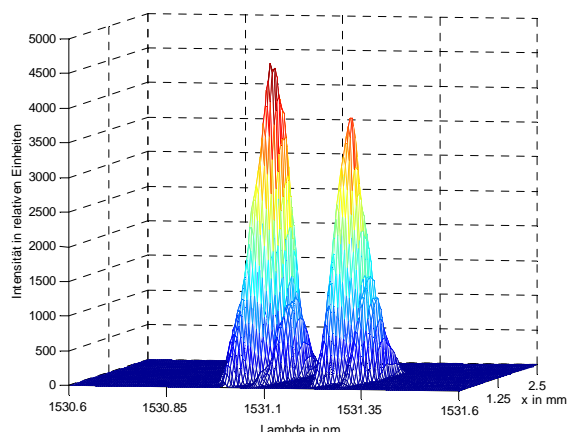


Abb. 4 Schnitt bei $y = 1,75$ mm

Für niedrige Brechungseffizienz ($\eta < 10\%$), kann die Transferfunktion durch die Fouriertransformation F des Phasenprofils berechnet werden:

$$D(\lambda) \propto F\{\Delta n(z) \exp[i\varphi(z)]\}$$

wobei z die Propagationsrichtung, $\Delta n(z)$ die Gitteramplitude und $\varphi(z)$ die Gitterphase ist. Die Rekonstruktion der Phaseninformation erfolgt über die Lösung des nichtlinearen Minimierungsproblems.

Um die Daten mit den numerischen Simulationen vergleichen zu können, wurde ein weiterer Schnitt bei den beiden festen Höhen $y = 1,75$ mm bzw. $y = 0,25$ mm und konstanter Breite $x = 1.2$ mm benutzt.

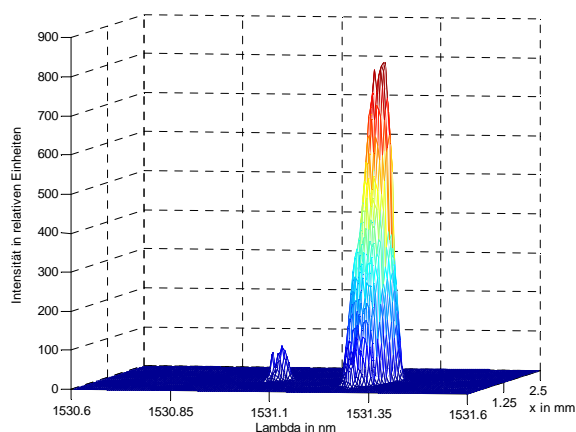


Abb. 5 Schnitt bei $y = 0,25$ mm

Ein Vergleich mit den numerischen Simulationen liefert für Abb. 4 eine Phase von $\varphi = 190^\circ$ und für Abb. 5 $\varphi = 0^\circ$. Dies entspricht, im Rahmen der Messtoleranz, den an der Phasenzelle angelegten Sprüngen von 180° und 0° .

3 Zusammenfassung

Wir haben gezeigt, dass es möglich ist einem BaTiO₃ Kristall ortsabhängig unterschiedliche Phaseninformationen zu speichern und diese für die verschiedenen Ebenen durch einen Vergleich mit der Theorie zu berechnen. Die Methode eignet sich zur Untersuchung der räumlichen Variation von Volumengittern und Phasenobjekten wie z.B. diffraktiven optischen Elementen. Bisher beschränkt nur die Pixelgröße der Kamera die örtliche Auflösung des Verfahrens auf derzeit $50 \times 50 \mu\text{m}^2$.

Mit einer Aufweitung des Infrarotlasers ist es möglich größere Flächen bzw. Phasenobjekte simultan und in Echtzeit zu untersuchen.

Literatur

- [1] V. Petrov, S. Lichtenberg und T. Tschudi, *Optics Communication* **229**, 131-139 (2004)
- [2] S. Lichtenberg, C. Heinisch, V.M. Petrov, J. Petter und T. Tschudi, *Appl. Opt.* **44**, 4659-4665 (2005)