

Verbesserung der Auflösung eines adaptiven photorefraktiven Interferometers

Sören Lichtenberg, V.M. Petrov, J. Petter, T. Tschudi
 Institut für Angewandte Physik, Technische Universität Darmstadt
 Hochschulstrasse 6, 64293 Darmstadt
 mailto:soeren.lichtenberg@physik.tu-darmstadt.de

Das von uns vorgestellte Interferometer basiert auf Bragg Reflektion an volumenholographischen Gittern. Es ermöglicht die Detektion von Winkeländerungen von wenigen Mikrorad in einem Messbereich von etwa 5° sowie Änderungen der Wellenlänge von wenigen hundert Femtometern.

Einführung

Das Messprinzip [1] des realisierten adaptiven holographischen Interferometers kombiniert die Vorteile der Mehrstrahlinterferenz klassischer hochauflösender Interferometer (z.B. Fabry-Perot) mit der Adaptivität holographischer Interferometer. Es weist keine prinzipielle Einschränkung des Messbereichs (vgl. ‚Free Spectral Range‘ beim Fabry-Perot) auf und das Messsignal ist stabil gegenüber Schwankungen in der Intensität und niederfrequenter variabler Umgebungseinflüsse wie z.B. langsamen Temperaturschwankungen.

Messprinzip

Durch zwei aufgeweitete kohärente Strahlen (@532nm) wird ein Bragg Gittern in Form eines Volumenhologramms in einen photorefraktiven Kristall eingeschrieben (vgl. Abb. 2). Der Winkel 2θ zwischen den beiden Strahlen und die Wellenlänge λ_w definieren über die Bragg Bedingung die Gitterperiode:

$$\frac{\lambda_r}{2n} = \frac{\lambda_w}{2 \sin \theta} = \Lambda \quad (1)$$

Das eingeschriebene Gitter wird von einem durchstimmbaren IR Laser in Reflektionsgeometrie ausgelesen; erfüllt λ_r nicht die Bragg Bedingung, so erfolgt keine vollständige Reflexion am Gitter. Der wellenlängenabhängige Reflektionskoeffizient definiert die Transferfunktion des Gitters (vgl. Abb. 1). Wird nun ein keilförmiges Testobjekt (vgl. Abb. 2) in den Strahlengang eingebracht, so ändert sich der Winkel θ und somit die Bragg Bedingung. Über die spektrale Verschiebung $\Delta\lambda$ der Bragg Wellenlänge λ_r kann die Winkeländerung $\Delta\theta$ wie folgt berechnet werden:

$$\Delta\lambda_r = -\lambda_r \Delta\theta \cot \theta \quad (2)$$

Die Selektivität $\delta\lambda$ (vgl. Abb. 1) des Bragg Gitters, festgelegt durch die Gitterperiode Λ und die Länge des Gitters d , begrenzt hierbei die auflösbare Winkeländerung. Aufgrund des hohen Signal-Rausch Verhältnisses des Messsignals ($SRV > 75$) kann die Verschiebung der Bragg Wellenlänge bis

auf 2% der Selektivität genau bestimmt werden.

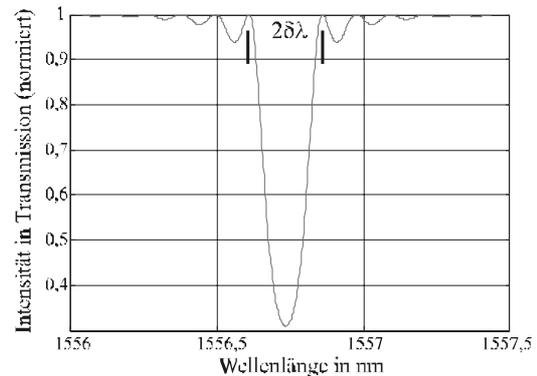


Abb.1 Die Transferfunktion eines Bragg Filters

Die Selektivität der eingeschriebenen Gitter beträgt für eine Länge von 5mm etwa 80-120pm.

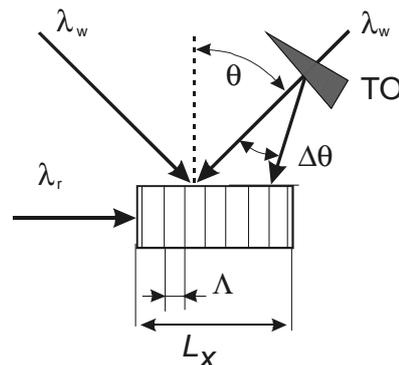


Abb.2 Schreiben und Auslesen des Bragg Gitters

Detektion von Mikrorad-Winkelverstimmungen

Mit Hilfe des zuvor beschriebenen Messprinzip ist die Detektion von Winkelverstimmungen der Aufnahmestrahlen bis in den Bereich von wenigen Mikrorad möglich, dies entspricht der Auflösungsgrenze des Interferometers. Für die experimentelle Realisierung wurde eine Flüssigkristallzelle in den Strahlengang eines der

Aufnahmestrahlen eingebracht (vgl. Abb. 3). Diese induziert bei angelegter Spannung ein keilförmiges Phasenprofil welches den Aufnahmestrahle ablenkt. In das photorefraktive Material wird somit eine neues Gitter mit einer veränderten Gitterperiode geschrieben. Über die Änderung der Bragg Wellenlänge $\Delta\lambda_r$ kann die induzierende Winkeländerung $\Delta\theta$ berechnet werden (Gl. 2). Zur Verifikation wurden die so berechneten Winkeländerung $\Delta\theta$ zusätzlich interferometrisch über eine Eichung der Flüssigkristallzelle bestimmt. Die experimentellen Daten zur Bestimmung von Winkelverstellungen sind in Abb. 5 dargestellt, die Winkelverstellung $\Delta\theta$ ist auf der Abszisse aufgetragen, sie wurde über die Eichung der Flüssigkristallzelle bestimmt. Auf der Ordinate ist die gemessene spektrale Verschiebung der Bragg Wellenlänge aufgetragen, der statistische Fehler der Wellenlängenverschiebung beträgt etwa 400-600 Femtometer, dies entspricht einem Winkelfehler von etwa 1-2 Mikrorad. Durch

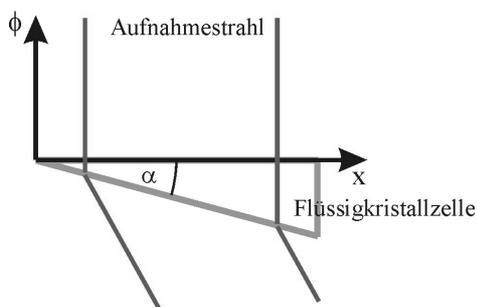


Abb. 3 Flüssigkristall Strahlableiter

thermische Stabilisierung des Versuchsaufbaus konnte dieser Fehler in folgenden Experimenten auf etwa 0,2 -0,4 Mikrorad reduziert werden.

Bestimmung des Messbereichs

Wie in Abb. 4 zu erkennen ist, ist der maximale Messbereich der Interferometers prinzipiell nur durch den verfügbaren Wellenlängenbereich des

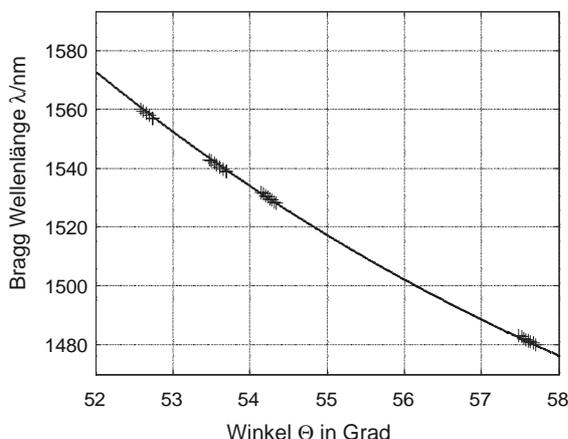


Abb. 4 Messbereich des Interferometers

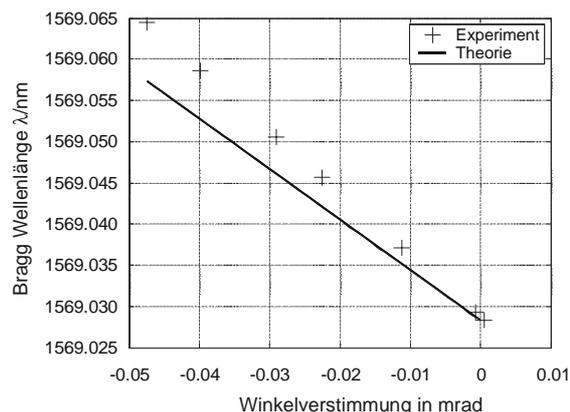


Abb. 5 Detektion von Winkelverstellungen

durchstimmbaren IR Laser begrenzt. Innerhalb dieses Bereichs können Winkelverstellungen mit der Auflösung von wenigen Mikrorad quantifiziert werden.

Diskussion

Wie die gezeigten experimentellen Daten demonstrieren, kombiniert das vorgestellte adaptive photorefraktive Interferometer die Vorteile herkömmlicher hochauflösender Interferometer (Fabry-Perot) mit der Adaptivität holographischer Interferometer. Die zusätzliche thermische Stabilisierung des Versuchsaufbaus (Laser) erhöht das Signal-Rausch Verhältnis und ermöglicht die hochpräzise Detektion und Quantifizierung ohne elektronische Signalaufbereitung. Die Bestimmung der Bragg Wellenlänge und somit auch die Quantifizierung der Winkelverstellung beruht auf der spektralen Auswertung der Transferfunktion des Bragg Gitters, dies resultiert in einem hohem Signal-Rausch Verhältnis des auszuwertenden Signals (der Position der Bragg Wellenlänge) und ermöglicht auch Messungen bei schwankender Intensität der Aufnahmestrahlen/Auslesestrahls. Neben der Möglichkeit das Signal durch elektronische Signalaufbereitung zu verbessern, wird noch die Möglichkeit untersucht, durch Manipulation der Transferfunktion das Interferometer gezielt an Aufgabenstellungen anzupassen [2].

Referenzen

- [1] Petrov et al., TOPS 87 (2003) 588 – 594
- [2] Petrov et al., Opt. Comm. 229 (2004) 131-139