

Adaptives holographisches Interferometer basierend auf dynamischen Reflektionshologrammen in Sillenit - Kristallen

V.Petrov, J.Hahn, S.Lichtenberg, J.Petter, T.Tschudi

Technische Universität Darmstadt

<mailto:victor.petrov@physik.tu-darmstadt.de>

Wir stellen ein auf Sillenit-Kristallen basierendes adaptives holographisches Interferometer vor, mit dem die Vibration einer Objektoberfläche mit einer Vibrationsamplitude im Bereich von 0,1 nm detektiert werden kann. Hierbei wird erstmalig die Reflektionsgeometrie verwendet. Untersucht wurden die Abhängigkeiten von Amplitude und Frequenz der vibrierenden Objekts.

1 Einführung

Adaptive holographische Interferometer sind gut geeignet zum Studium holographischer Aufnahme-mechanismen in photosensitiven Materialien [1,2]. Aufgrund ihrer hohen Empfindlichkeit eignen sie sich zur Messung phasenmodulierter optischer Signale und sind somit in der Lage, kleine Auslenkungen reflektierender Oberflächen zu detektieren. Als photosensitive Materialien benutzen wir verschiedene Sillenit-Kristalle ($\text{Bi}_{12}\text{TiO}_{20}$, $\text{Bi}_{12}\text{GeO}_{20}$, $\text{Bi}_{12}\text{SiO}_{20}$), deren besondere Vorzüge für diese Anwendung in ihren relativ kleinen Reaktionszeiten im Bereich weniger Millisekunden und damit in ihrer Unempfindlichkeit gegenüber niederfrequentem externem Rauschen liegt [3,4].

2 Funktionsprinzip und Aufbau

In Abb.1 ist der Aufbau unseres Interferometers dargestellt, das auf einem dynamischem holographischen Material basiert.

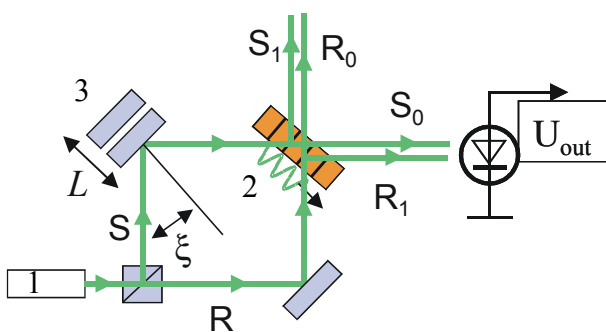


Abb.1: Versuchsaufbau: 1 - Laser, 2 - Hologramm, 3 - bewegter Spiegel

Das Medium wird mit zwei kohärenten Strahlen beleuchtet, wobei ein Strahl eine kleine Phasenmodulation erfährt. Diese Phasenmodulation wird erzeugt, wenn beispielsweise einer der Spiegel im Interferometer periodisch verschoben wird, wodurch sich die optische Länge von einem der beiden Arme des Interferometers verändert. Die peri-

odische Phasenmodulation des einen Armes führt zu einer periodisch-räumlichen Oszillation des Interferenzmusters.

Abhängig vom Verhältnis der Frequenz der Oszillation des Interferenzmusters zur charakteristischen Aufnahmezeit τ des Materials unterscheiden sich zwei Fälle:

1.) Wenn die Frequenz der Phasenmodulation kleiner ist als die reziproke Aufnahmezeit $\Omega < 1/\tau$, dann verändert das holographische Gitter die Position gemäß der Lage des Interferenzmusters. In diesem Fall bleibt der Unterschied der Phase zwischen den zwei Strahlen am Ausgang des Interferometers konstant und das periodische Signal am Ausgang des Interferometers ist gleich Null.

2.) In dem anderen Fall, wenn die Frequenz der Phasenmodulation größer ist als die reziproke Aufnahmezeit $\Omega > 1/\tau$, kann das holographische Gitter der Modulation nicht folgen; das heißt, das Gitter ist statisch. In diesem Fall verändert sich der Unterschied zwischen zwei Strahlen am Ausgang des Interferometers mit der Frequenz Ω und wir erhalten ein periodisches Signal, das zur Amplitude der Phasenmodulation proportional ist.

Das dynamische Hologramm spielt in diesem Fall die Rolle eines adaptiven Strahlteilers. Es unterdrückt die langsamen Phasenfluktuationen, und in derselben Zeit transmittiert es die schnellen Phasenveränderungen, die durch die reflektierende Oberfläche aufgeprägt werden. Damit bleiben Signalanteile hoher Frequenz erhalten. Die Übertragungsfunktion eines solchen Interferometers entspricht der eines Hochpassfilters:

$$U_{out}(\Omega) \sim \frac{\Omega\tau}{\sqrt{1 + \Omega^2\tau^2}}$$

3 Frequenzabhängigkeit

In Abb. 2 ist die experimentell gemessene Übertragungsfunktion (das transmittierte Signal) für Bismut-Titanat für verschiedene Intensitäten des einschreibenden Lichtes dargestellt. Die Grenzfrequenz beträgt etwa 5 Hz, das heißt, dass alle Oszillationen mit einer Frequenz, die kleiner ist als 5 Hz, unterdrückt werden. Für Bismut-Silikat betrug die Grenzfrequenz etwa 35 Hz und für Bismut-Germanat etwa 70 Hz.

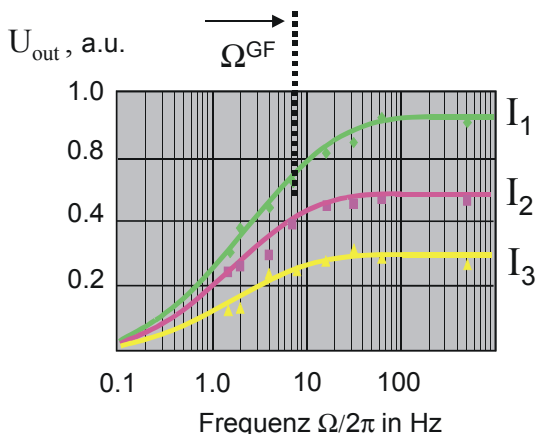


Abb. 2: Übertragungsfunktion des Interferometers: Abhängigkeit des Ausgangssignals von der Frequenz der Phasenmodulation $\Omega/2\pi$, Material: Bismut-Titanat

4 Amplitudenabhängigkeit

Das ausgehende Signal als Funktion der Amplitude der Phasenmodulation kann als das Produkt von Besselfunktionen der nullten und der ersten Ordnung dargestellt werden. Mit einer solchen Abhängigkeit kann eine absolute Kalibrierung des Interferometers für die Phasenmodulation vorgenommen und die absolute Skala für die Amplitude/Auslenkung der Vibration des Objektes festgelegt werden.

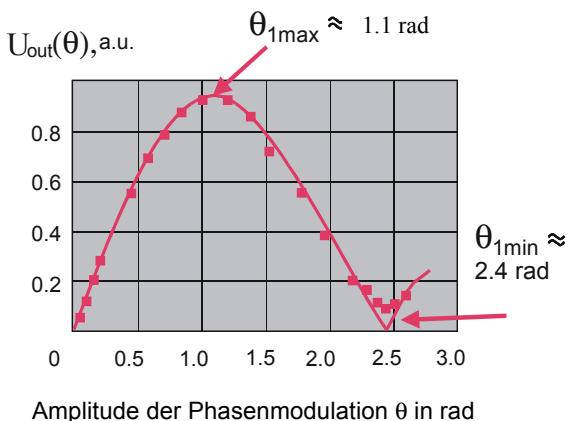


Abb. 3: Abhängigkeit des Ausgangssignals von der Amplitude der Phasenmodulation θ

Das größte Interesse liegt im Bereich von Oszillationen kleiner Amplituden. In Abbildung 4 ist dieser Bereich dargestellt. Man sieht, dass die gemessene Minimalamplitude 0,05 nm beträgt. Hierbei ist darauf hinzuweisen, dass in diesem Fall die gemessene Größe durch das Rauschen des Photodetektors begrenzt war.

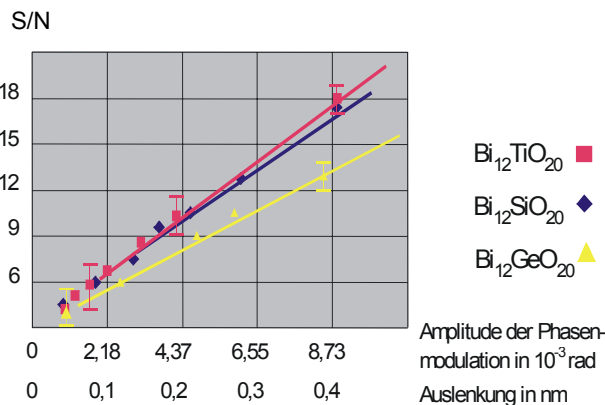


Abb.4: Zusammenhang zwischen der Amplitude der Phasenmodulation und der Auslenkung des vibrierenden Objekts

Literatur

- [1] S. I. Stepanov, Rep. Prog. Phys. 57, 39 (1994)
- [2] T.J. Hall, M.A. Fiddy and M.S. Ner, Opt. Lett. 5, 484 (1980)
- [3] V. Petrov, C. Denz, J.Petter and T. Tschudi, Opt. Lett. 22, 24 (1997)
- [4] M.P. Petrov, S.I. Stepanov, A.V. Khomenko, Springer-Verlag Berlin, ISBN 3-540-52603-X (1991)