

Dynamisches System für die Aufnahme und optische Rekonstruktion von digitalen Hologrammen

Günther Wernicke, Johannes Frank, Christian Günther, Sven Krüger*

Institut für Physik, Humboldt-Universität zu Berlin

*HoloEye Photonics AG Berlin

mail to : wernicke@physik.hu-berlin.de

Es wird ein Aufbau zur Aufnahme und optischen Rekonstruktion von digitalen Hologrammen unter Verwendung von reflektiven Flüssigkristalldisplays vorgestellt. Anwendungen mit einer speziell modulierten Beleuchtung bei der Aufnahme zur Darstellung von holographischen Interferogrammen und die optische Rekonstruktion von Röntgenhologrammen wird gezeigt..

1 Einleitung

Die digitale Holographie, bei der das Hologramm auf dem Target einer CCD-Kamera aufgenommen wird und die erhaltene Grauwertverteilung als beugende Struktur mit Hilfe des Fresnel-Kirchoff-Beugungsintegrals zur Berechnung der Amplituden- und Phasenverteilung des aufgenommenen Objekts ausgewertet wird, ist so weit verbreitet, dass sie bereits Eingang in Lehrbücher der Physik gefunden hat. Die Auflösung der Kamera bestimmt hier das Raum-Bandbreite-Produkt.

Ebenfalls seit längerem bekannt ist die optische Rekonstruktion mit Hilfe von Flüssigkristalldisplays [1]. Gerade die Möglichkeiten dieser Rekonstruktion haben sich aufgrund der rasanten Entwicklung der Mikro-Display-Industrie wesentlich verbessert. Die neuesten Displays dieser Art bestehen aus einer Backplane aus Silizium, vor der die Flüssigkristalle geeignet angeordnet sind. Diese werden als LCoS (Liquid Crystal on Silicon) – Displays bezeichnet. Deren Parameter sind auch für Applikationen in der diffraktiven Optik sehr vielversprechend. Sie haben Pixelgrößen bis zu $8\mu\text{m}$, einen optischen Füllfaktor von ca. 92% und wegen der vertikalen Lage der nematischen Flüssigkristallmoleküle eine nahezu reine Phasenmodulation.

2 Experimenteller Aufbau

Die HoloEye Photonics AG hat in Zusammenarbeit mit Aurora Systems (USA) derartige reine phasenmodulierende Displays entwickelt. Wir haben das LCoS Display HEO 1080P, dessen Flüssigkristall-Mode auf der elektrisch kontrollierten Doppelbrechung beruht, für die digitale Holographie eingesetzt. Es hat eine Pixelgröße von $8\mu\text{m}$ und eine Auflösung von 1920×1080 Pixel. Nach einer Vermessung der im allgemeinen nichtlinearen Phasenmodulation wurde dieses mit einer speziellen Software [2] linearisiert. In Abb. 1 ist das Pha-

senmodulationsverhalten für $\lambda = 632,8 \text{ nm}$ vor und nach der Linearisierung gezeigt.

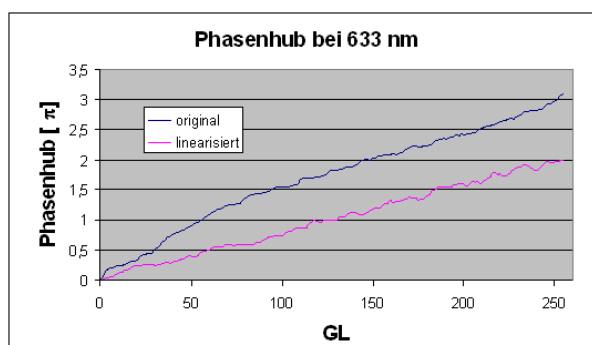


Abb. 1 Phasenmodulation des HEO 1080P vor und nach Linearisierung

Das beschriebene Display wurde sowohl zur Rekonstruktion der digitalen Hologramme als auch als Beleuchtungsspiegel im Aufbau zur Aufnahme der digitalen Hologramme eingesetzt. In Abb. 2 ist der realisierte Aufbau im Schema gezeigt.

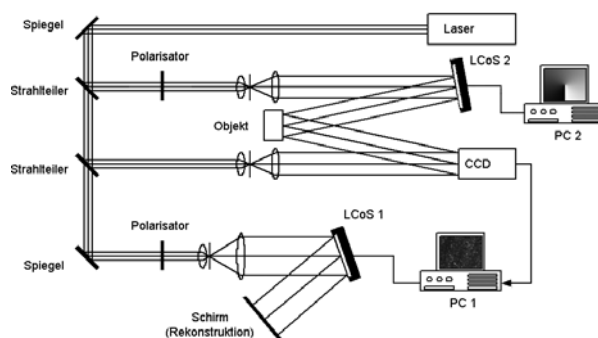


Abb. 2 Aufbau zur Aufnahme und optischen Rekonstruktion digitaler Hologramme

Verwendet wurde ein frequenzverdoppelter Nd:YAG-Laser und eine KAPPA CCD Kamera 1300×1080 mit $4,65 \mu\text{m}$ Pixelgröße.

Eine speziell entwickelte Software gestattet die Einstellung der Aufnahmeparameter, die Speicherung eines Hologramms und anschließende Subtraktion der folgenden aufgenommenen Hologramme sowie in einer weiteren Anwendung die Überlagerung einer zusätzlichen Phasenfunktion, z.B. einer Prismen- oder Linsenphase. Damit werden neben den „klassischen“ Methoden der Hologramminterferometrie, wie Doppelbelichtungs- und Zeitmittelungstechnik auch Justierungen des rekonstruierten Bildes im Raume möglich. Hiermit sind die Voraussetzungen für einen Einsatz in der sogenannten „Remote Metrology“ vorhanden [3].

3 Anwendungen

An zwei Beispielen sollen die Möglichkeiten des Einsatzes der optischen Rekonstruktion gezeigt werden.

In der Interferenzmikroskopie führt die Einführung einer Vortex-Phase in der Ebene der Fourier-Filterung zu spiralförmigen Interferenzfiguren anstelle von geschlossenen Ringen [4]. In den Beleuchtungsstrahlengang bei der Aufnahme eines Doppelbelichtungshologramms eingesetzt tritt dieser Effekt ebenfalls auf.

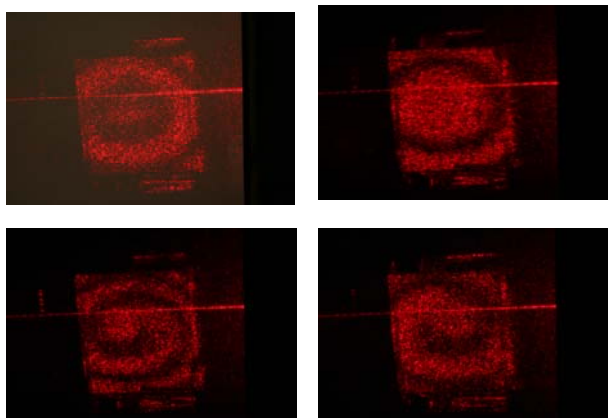


Abb. 3 Holographische Interferogramme eines Peltier-Elements, Überlagerung von zwei Zuständen: Links kalt-warm, rechts warm-kalt, oben ohne, unten mit Vortex-Phase in der Beleuchtungswelle

In Abb. 3 sind die entsprechenden Interferogramme gezeigt. Es sind auf diese Weise Richtungen der Verschiebungen detektierbar, was ohne diese Manipulation nicht möglich wäre.

Bei der Untersuchung von magnetischen Nanostrukturen wird mit einer leistungsstarken Röntgenquelle bei $\lambda = 1,6 \text{ nm}$ ein digitales Fourier-Hologramm aufgenommen [5]. Bei dem aufgenommenen Objekt handelt es sich um einen magnetischen Multilayer (Co/Pt), dessen senkrechte Anisotropie Wurmdomänen bildet. Bei einer Belichtungszeit von 3000 s wurde auf einer Röntgenkamera Princeton-Instruments PI-SX aufgenommen, das digitale Hologramm mit einem inversen

Gauss-Filter gefiltert und dieses im oben beschriebenen Aufbau rekonstruiert. Das digitale gefilterte Hologramm ist in Abb. 4 gezeigt. Den Vergleich der digitalen und der optischen Rekonstruktion zeigt Abb.5.



Abb. 4. Digitales Hologramm einer magnetischen Schicht

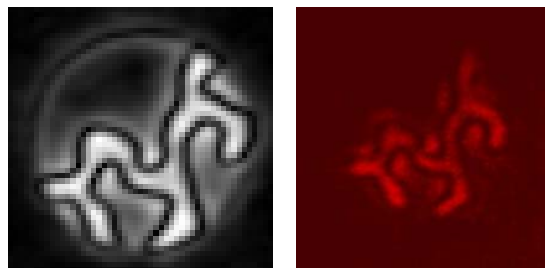


Abb. 5 Digitale (links) und optische (rechts) Rekonstruktion eines Röntgen-Hologramms der Subtraktion einer rechts und einer links zirkular polarisiert mit $\lambda = 1,6 \text{ nm}$ beleuchteten magnetischen Domäne

4 Zusammenfassung und Ausblick

Der vorgestellte Aufbau ist eine digital-analoge Schnittstelle für die Erzeugung komplizierter Wellenfronten. Die damit möglichen Verfahren ermöglichen den Vergleich von Lichtwellenfeldern über große Entfernungen (Remote Metrology), sowie die Implementierung neuer Auswertalgorithmen durch den Einsatz einer Vortex-Phase. Für die Zukunft ist bei der Möglichkeit des Einsatzes eines Freie-Elektronen-Lasers durch die holographische Abbildung von Biomolekülen ein Fortschritt für das Gebiet Molecular Imaging zu erwarten.

Literatur

- [1] N. Hashimoto, S. Morokawa, „Real-time electroholographic system using liquid crystal television spatial light modulators“ *Journ. of Electronic Imaging* **2** (2): 93-99 (1993)
- [2] http://holoeve.com/download_daten/PaseCam_Manual.pdf
- [3] G. Wernicke, H. Gruber, M. Dürr, S. Krüger, A. Langner, „Dynamisches System für die Aufnahme und optische Rekonstruktion von Hologrammen“. *technisches messen* **73** (3) 142-148 (2006)
- [4] S. Fürhapter, A. Jesacher, S. Bernet, M. Ritsch-Marte, „Spiral Interferometry“ *Opt. Lett.* **30** 1953-1955 (2005)
- [5] S. Eisebitt, J. Lüning, W.F. Schlotter, M. Lörger, O. Hellwig, W. Eberhardt, J. Stöhr, „Lensless imaging of magnetic nanostructures by X-ray spectro-holography“ *Nature* **432** (16 Dec 2004) 885-888