

Schriftenreihe des Instituts für Produktionsmesstechnik

Band 5

**Nicolae Radu Doloca**

**Random phase shift interferometer**

Shaker Verlag  
Aachen 2008

**Bibliographic information published by the Deutsche Nationalbibliothek**

The Deutsche Nationalbibliothek lists this publication in the Deutsche Nationalbibliografie; detailed bibliographic data are available in the Internet at <http://dnb.d-nb.de>.

Zugl.: Braunschweig, Techn. Univ., Diss., 2008

Copyright Shaker Verlag 2008

All rights reserved. No part of this publication may be reproduced, stored in a retrieval system, or transmitted, in any form or by any means, electronic, mechanical, photocopying, recording or otherwise, without the prior permission of the publishers.

Printed in Germany.

ISBN 978-3-8322-7354-5

ISSN 1862-4456

Shaker Verlag GmbH • P.O. BOX 101818 • D-52018 Aachen

Phone: 0049/2407/9596-0 • Telefax: 0049/2407/9596-9

Internet: [www.shaker.de](http://www.shaker.de) • e-mail: [info@shaker.de](mailto:info@shaker.de)

### **Zufalls-Phasenschiebeinterferometer (Zusammenfassung)**

Die berührungslose Formprüfung von Präzisionsoberflächen erfolgt heute meist mittels interferometrisch-optischen Verfahren. Die Auswertung des resultierenden Interferenzmusters zwischen zwei Wellenfronten, eine von der Prüflingsoberfläche reflektiert, die andere von einer Referenzfläche reflektiert, ermöglicht sehr genaue 3D-Messungen von glatten Oberflächen. Neue Entwicklungen in der Computer Technologie einerseits, aber auch neuartige Verfahren der Bildverarbeitung und die Verfügbarkeit von CCD Sensorarrays andererseits, haben die Entwicklung von Phasenschiebeinterferometrie-Verfahren (PSI) ermöglicht.

Bei dem zeitlichen Phasenschiebeverfahren wird das Messobjekt in mehreren Beleuchtungszuständen registriert, wobei in den einzelnen Zuständen jeweils eine definierte Phasenschiebung zwischen Mess- und Referenzwelle aufgebracht wird. Die Höheninformationen des Oberflächenprofils sind in den Intensitäten der Interferenzmuster kodiert. Weil die Aufzeichnung der verschiedenen Zustände in der Regel sequentiell erfolgt, erweisen sich derartige Messsysteme in der Praxis als empfindlich gegenüber Vibrationen, die aus der Umgebung in die Messapparatur eingekoppelt werden. Als Folge, sollten alle interferometrischen Systeme auf einem vibrationsgedämpften Tisch montiert werden.

Während bisherige Ansätze zum Ziel haben, den Einfluss von Vibrationen auf das Messergebnis durch verschiedene Maßnahmen zu minimieren, schlägt diese Arbeit ein als Zufalls-Phasenschiebeinterferometer bezeichnetes Messsystem vor, wobei die entscheidende Neuerung darin besteht, dass in der Messumgebung vorhandene Vibrationen und die dadurch verursachten mechanischen Schwingungen des Messaufbaus und insbesondere des Prüflings bewusst zugelassen und für das Phasenschiebeprinzip nutzbar gemacht werden.

Dieses neue PSI-Konzept erfordert die Integration zweier optoelektronischer Aufnahmesysteme in einem interferometrischen Aufbau. Hierbei kommt zusätzlich zu dem üblicherweise in Interferometern eingesetzten hochauflösenden, jedoch vergleichsweise langsamen CCD-Bildaufnehmern ein zweites optoelektronisches Aufnahmesystem zum Einsatz, welches eine zeitlich aufgelöste Erfassung der dynamischen Interferenzstreifenmuster ermöglicht, dabei jedoch nur eine geringe laterale Auflösung aufweisen muss. Die Detektoreinheit in Form dreier Photodioden ermöglicht die out-of-plane Starrkörperbewegungen des Prüflings aus den gewonnenen Daten zu rekonstruieren.

Die Erfassung des Interferenzbildes erfolgt mit einer Belichtungsdauer von 11 Mikrosekunden, um das durch Vibrationen sich dynamisch verändernde Streifenmuster einzufrieren, und so einen Kontrastverlust des Interferenzmusters zu vermeiden.

Wird synchron hierzu der Prüfling mittels des hochauflösenden CCD-Bildsensors zu diskreten Zeitpunkten registriert, so kann aus der Kenntnis der vibrationsbedingten Starrkörperbewegung des Messobjekts für jeden Bildpunkt die relative Phasenlage zu verschiedenen Zeitpunkten bestimmt werden. Anstatt also, wie bei konventionellen PSI Techniken, einen hochgenauen Phasenversatz zwischen aufeinanderfolgenden Zuständen aufzuprägen, können direkt die infolge von Vibrationen zufällig entstehenden Phasenverschiebungen als Grundlage der Phasenschiebeauswertung genutzt werden.

Um die Gültigkeit des neuen interferometrischen Messprinzips zu prüfen, ist eine Prüflingsoberfläche mit bekannter Topographie gemessen worden. Die Messergebnisse unter dem Einfluss von Vibrationen zeigten eine sehr gute Übereinstimmung mit der vom Lieferanten des Prüflings angegebenen Oberflächentopographie. Die Auswertung der RMS Standardabweichung über zehn unterschiedliche Messungen, zeigt eine Messwiederholpräzision von 0,004 Wellenlängen ( $\approx 2,5\text{nm}$  bei  $\lambda = 632,8\text{nm}$ ).

### **Random phase shift interferometer (summary)**

Interferometry is the most accurate non-contact measurement tool for optical components. Optical interferometers can generate very precise surface topography maps of objects using the interference pattern of two wavefronts: one wavefront is reflected by the test object and the other is reflected by a reference surface.

The recent development of the computer technology, as well as the new image processing capabilities and matrix detectors (e.g. CCD sensor array) have opened the doors for phase shifting interferometry (PSI).

In case of the temporal PSI methods, the measurement data are sequentially obtained, by acquiring several interferograms, and changing at each step with well known quantities the phase shifts between test and the reference wavefronts.

The information about the surface height is encoded in the fringes intensity values of the fringes, and a pixel-by-pixel analysis reveals the topography of the test object. But the most serious impediment to wider use of temporal PSI is its high sensitivity to external vibrations, which cause the phase shifts between interferograms to be incorrect and different from what is desired. As consequence, all phase shifting interferometers must be placed on a tuned damping optical table with pneumatic isolators, which is very expensive.

The so called simultaneous phase shifting methods reduce the influence of the vibration by taking all the phase shifted frames simultaneously, obtaining several phase shifted interferograms. However they prove to be very complex and expensive systems.

In the context of this work, a novel Fizeau interferometric system that copes with the presence of vibrations was developed and demonstrated, with the aim of reducing the costs involved in the individual components and in the production line of the system.

The interferometer presented in this thesis was designed to work without vibration isolation, and to use the floor vibration as phase shifter. Besides the conventional high spatial, but low temporal resolution detector system (the CCD camera) used in phase shifting interferometry, an additional high temporal, but low spatial resolution detector system was integrated, in order to measure the random phase shifts that are induced under the influence of the vibrations. The additional sensor consist of three photodiodes. The acquired analog signals enable the measuring of the occurring phase shifts at three non-collinear locations on the test surface. Under the assumption of the rigid body shifts and tilts of the test object, the resulting phase shifts at the three individual locations enable the determination of the random phase shifts over the entire image aperture.

As a consequence of the continuous oscillations of the test object, the resulting interference fringe pattern changes and varies very rapidly. The short exposure times of 11  $\mu\text{s}$  of the CCD camera ensure stroboscopic acquisitions of the unstable fringe pattern, providing interferograms with very good signal contrast. While the random oscillations of the test object are continuously measured, the CCD camera acquires several interferograms. In consequence, a phase shifting algorithm for random phase shifts was applied.

In order to proof the validity of the new interferometer, a test surface of known topography was measured.

The results of the measurements in presence of vibrations show very good concordance with the surface data given by the supplier.

The analysis of the root mean square (RMS) over ten different measurement, show a measurement repeatability of about 0.004 waves ( $\approx 2.5 \text{ nm}$  for  $\lambda = 632.8 \text{ nm}$ ).