Computer-generierte Hologramme, ihre Erstellung und Impulsabformung

Von der Fakultät für Maschinenbau
der Gottfried Wilhelm Leibniz Universität Hannover
zur Erlangung des akademischen Grades
Doktor-Ingenieur
genehmigte Dissertation
von

Dipl.-Phys. Till Benjamin Scholz
geboren am 13.04.1981 in Hannover

2011

Berichte aus dem Institut für Mess- und Regelungstechnik der
Leibniz Universität Hannover

Till Scholz

Computer-generierte Hologramme, ihre Erstellung und Impulsabformung

Shaker Verlag
Aachen 2011

Bibliografische Information der Deutschen Nationalbibliothek
Die Deutsche Nationalbibliothek verzeichnet diese Publikation in der Deutschen Nationalbibliografie; detaillierte bibliografische Daten sind im Internet über http://dnb.d-nb.de abrufbar.

Zugl.: Hannover, Leibniz Univ., Diss., 2011

Umschlag:
Das Hintergrundbild zeigt eine Kollage vom Institutsgebäude an der Leibniz Universität Hannover aus verschiedenen Zeitepochen. Gestaltung: K. Salfeld

Copyright Shaker Verlag 2011
Alle Rechte, auch das des auszugsweisen Nachdruckes, der auszugsweisen oder vollständigen Wiedergabe, der Speicherung in Datenverarbeitungsanlagen und der Übersetzung, vorbehalten.

Printed in Germany.

ISBN 978-3-8440-0011-5
ISSN 1615-7184

Shaker Verlag GmbH • Postfach 101818 • 52018 Aachen
Telefon: 02407 / 95 96 - 0 • Telefax: 02407 / 95 96 - 9
Internet: www.shaker.de • E-Mail: info@shaker.de

Kurzüberblick

Holografische Strukturen, wie sie heutzutage zum Beispiel zur Produktsicherung verwendet werden, konnten bisher nur in weiche Metalle abgeformt werden. Der bisherige Prozess kann jedoch durch das sogenannte Sprengprägen in der möglichen Wahl der Werzeugmaterialien übertroffen und deshalb ersetzt werden, da der Prozess des Sprengprägens Abformungen auch in harte Metalle wie zum Beispiel Stahl ermöglicht.

Diese Arbeit gibt zunächst einen Einblick in die messtechnische Analyse des Sprengprägeprozesses zur Abformung von holografischen Nanostrukturen in harte Werkstoffe wie zum Beispiel Stahl. Die Erstellung benutzerdefinierter, holografischer Strukturen mittels eines Computers ist im digitalen Zeitalter in greifbare Nähe gerückt. Auf dieser theoretischen Grundlage werden in einem weiteren Schritt die Programmierung eines Softwarepakets und die Erarbeitung eines Belichteraufbaus zur Generierung von computergenerierten Hologrammen vorgestellt.

Die hierbei angewandten kontaktlosen Kontrollmessverfahren, die die korrekte Analyse von holografischen Strukturen ermöglichen, sind die Rasterkraftmikroskopie für kleine Flächen ($\sim 300 \cdot 300\,\mu m^2$) und die neu entwickelte stereoskopische Elektronenmikroskopie für größere Flächen.

Abstract

Holografic structures, as they are nowadays used for purposes of product safety for instance, could formerly only be moulded into soft metals. This existing process can be surpassed and hence replaced by the explosive embossing process in the possible selection of tool-materials, since this new process enables the moulding of hard metals such as steel.

The first part of this work gives an insight into the metrological analysis of the explosive embossing process for the moulding of holographic nanostructures into hard tool-materials such as steel. With the technological advancements of the digital age, the creation of used-defined holographic structures by means of a computer has shifted into practicability. Moving on from this theoretical basis, the development of a software-package and an exposition-unit for the generation of computer-generated holograms are also part of this work.

The contactless measurement procedures employed in this work, which allow for a correct analysis of holographic structures, encompass atomic-force-microscopy for small areas ($\sim 300 \cdot 300\,\mu m^2$) and the newly developed stereoscopic scanning-electron-microscopy for larger areas.

Inhaltsverzeichnis

1 Einleitung **1**

2 Stand der Technik **3**
2.1 Hologramme . . . 3
2.2 Digitale vs. Computer-Generierte Hologramme (CGHs) . . . 6
2.3 Galvanische Herstellung holografischer Master . . . 9
2.4 Kontaktlose Oberflächenmessverfahren . . . 10
2.4.1 Konfokales Mikroskop . . . 11
2.4.2 Rasterkraftmikroskop (AFM) . . . 15
2.4.3 Stereoskopisches Rasterelektronenmikroskop (REM) . . . 16

3 Projektbeschreibung und Zielsetzung **19**

4 Theorie **21**
4.1 Licht und Interferenzeffekte . . . 21
4.2 Grundlagen der Holografie . . . 23
4.3 Digitale vs. computergenerierte Hologramme (CGHs) . . . 27

5 Erstellung der Projektsoftware **30**
5.1 Berechnung computergenerierter Hologramme . . . 30
5.1.1 Multi-Threading . . . 32
5.1.2 Verarbeitung großer Datenmengen . . . 34
5.1.3 Dateiformat für Wellenfronten . . . 36
5.1.4 Eigene Bedienelemente . . . 39
5.1.5 Berechnungsmethoden . . . 40
5.1.6 GPU-Programmierung . . . 42
5.2 Die Kalibrierungs-Software „SLM-Show“ . . . 45
5.3 Die Belichtersteuerungs-Software „Holo-Write“ . . . 48
5.4 Zukunftsweisende Softwareadaptierbarkeit . . . 50

6 Experimentelle Durchführung **54**
6.1 Konstruktion einer CGH-Belichter-Einheit . . . 54
6.1.1 Simulation des Strahlengangs im Belichter . . . 54
6.1.2 Konstruktion des Belichters . . . 55
6.1.3 Der Belichter in Bildern . . . 58
6.1.4 Charakterisierung des Belichters . . . 59
6.2 Belichtung segmentierter CGHs . . . 61

6.3 Sprengprägen 64

7 Experimentelle Ergebnisse 67

7.1 Belichtete CGHs 69

7.2 Sprenggeprägte Hologramme 74

8 Diskussion der gewonnenen Erkenntnisse 81

8.1 Stitching-Aufwand zur Erstellung großflächiger CGHs 81

8.2 Rechenaufwand zur Erstellung großflächiger CGHs 82

8.3 Geeignete, kontaktlose Messgeräte für Hologramme 82

9 Zusammenfassung und Ausblick 84

10 Anhang I

10.1 Abbildungsverzeichnis I

10.2 Tabellenverzeichnis IV

10.3 Literaturverzeichnis V

10.4 Wissenschaftlicher Werdegang VIII

10.5 Danksagung IX

11 Anlagen X

11.1 Digitale Fourier Transformation (DFT) X

11.2 Source-Code für AngleControl XI