

**Vira Besaga**

## **Digitale Transmissionsholographie für hochpräzise zerstörungsfreie Bildgebung und Messtechnik**

Kurzfassung

Die vorliegende Dissertation ist der Weiterentwicklung der digitalen Holographie gewidmet und strebt die Erarbeitung eines schnellen, hochpräzisen und zerstörungsfreien Ansatzes für die Messtechnik und Bildgebung von (halb-)transparenten Proben an. Die Arbeit verwendet die Transmissionsmessgeometrie und bietet zusätzlich zu den existierenden Lösungen eine schnelle und anspruchslöse Technik zur Korrektur der Verzerrungen des optischen Feldes, die während des Charakterisierungsverfahrens auftreten können.

Der erarbeitete Ansatz verwendet das Hologramm einer transparenten Probe selbst - außerhalb des interessierenden Bereiches beziehungsweise der Region of Interest - als eine Referenz. Die Technik wird mit dem Messprotokoll und dem entsprechenden Algorithmus zur Datenauswertung vervollständigt. Letzterer liefert die Messdaten mit hoher Genauigkeit, bleibt aber unkompliziert. Damit dauert die Charakterisierung einer Probe nur ungefähr 250 ms, was die Methode für den Echtzeiteinsatz tauglich macht.

Um die erarbeitete Technik in der Praxis zu verifizieren, wurde ein entsprechendes optisches System von hoher Stabilität und Universalität entwickelt. Dieses ist auf der Basis eines Interferometers mit klassischer Mach-Zehnder-Geometrie aufgebaut, wobei die Phasenverzögerungsstrecke aber mit zwei Michelson-artigen Ergänzungsarmen realisiert ist. Hiermit kann das holographische System eine breite Palette von verschiedenen Proben messen. Der Aufbau wurde charakterisiert und gewährleistet eine Phasensensitivität (oder axiale Messgenauigkeit) von weniger als 1 Grad.

Um die Leistungsfähigkeit der vorgeschlagenen Methode festzulegen, wurde eine Reihe von verschiedenen Proben und Effekten holographisch abgebildet beziehungsweise verfolgt. Die entsprechenden Experimente wurden dabei an statischen, dynamischen und Laser-Proben durchgeführt.

Im Rahmen der ersten Studien wurde die Leistungsfähigkeit des erarbeiteten Ansatzes für Topografiemessungen und Tiefenauswertung eines statischen Objekts evaluiert. Untersuchungen räumlich begrenzter Strukturen und von Proben mit substratangepasstem Brechungsindex haben eine hohe Genauigkeit, und zwar von weniger als 2 nm bei 832 nm Illuminationswellenlänge bewiesen. Ein Tiefendefinitionsfehler von nur 0,56  $\mu\text{m}$  konnte in den Versuchen mit in einem transparenten festen Medium zufällig verteilten Kunststoffmikropartikeln gezeigt werden. Zusätzlich wurde eine praxisorientierte Anwendung der Transmissionsholographie zur Fehleranalyse eines integrierten photonischen Halbleitersaufbaus vorgestellt.

Zur Überwachung dynamischer Prozesse mittels des holographischen Ansatzes wurde erstens die photoinduzierte Polymerisation in einem Fotolack ausgewählt. Dabei konnte eine Brechungsindex-Änderung des Polymermaterials im Bereich von  $2 \cdot 10^{-4}$  festgestellt werden. Eine weitere Anwendung der Digitalholographie wurde für örtlich-aufgelöste Abbildung der injizierten freien Ladungsträger mit Konzentrationen im Bereich von 3,8 bis  $8,0 \cdot 10^{17} \text{ cm}^{-3}$  demonstriert. Hier wurden die Vorteile, die die phasenbasierte Messung hier bietet, und auch eine Möglichkeit zur Trennung der mit freien Ladungsträgern und der mit Erwärmung verbundenen Effekte gezeigt.

Letztendlich wurde die Transmissionsholographie zur örtlich-aufgelösten Messung der optischen Verstärkung (bis ungefähr  $10 \text{ cm}^{-1}$ ) und der Brechungsindex-Änderung (bis ungefähr  $7,7 \cdot 10^{-3}$ ) in einer Halbleiterlaserdiode bei maximalem Pumpstrom von 135 mA demonstriert. Die gewonnenen holographischen Ergebnisse wurden durch qualitativen Vergleich mit einer spektroskopischen Messung verifiziert.