

Volumengitter in optischen Systemen

Kurzzusammenfassung:

Dicke holographische Gitter, auch als Volumengitter bezeichnet, sind bisher nur in sehr wenigen Anwendungen zu finden. Sie weisen optische Funktionalitäten auf, die nicht durch andere optische Bauteile bereitgestellt werden können. Volumengitter sind Schlüsselkomponenten in holographischen 3D Displays. Dort kommt man nicht um sie herum, da beispielsweise Fresnel-Linsen zu viel Streuung erzeugen und refraktive Linse zu dick sind. Neue Photopolymere eröffnen neue Möglichkeiten.

Volumengitter in optischen Systemen

Volumengitter sind optisch funktionale Folien, welche interferenzlithographisch belichtet werden. Basierend auf dem Prinzip der Holographie können Wellenfronten nahezu beliebig ineinander umgewandelt werden. Und dies erfolgt mittels einer dünnen, preisgünstigen Folie, welche die diffraktive Funktion oder mehrere Funktionen im Multiplex beinhaltet.

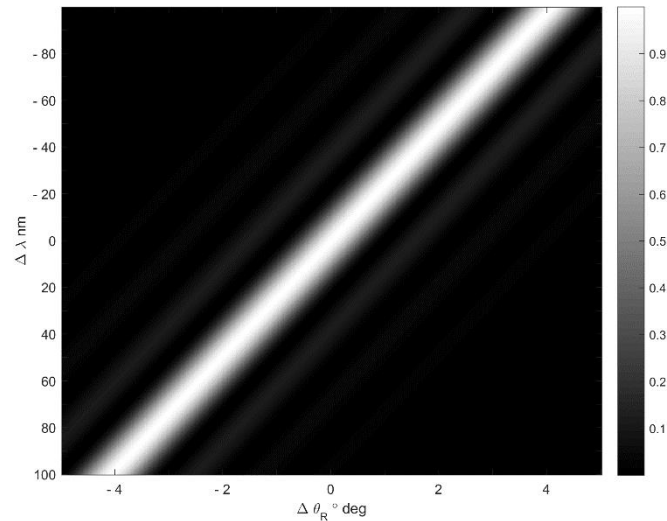
Bei der Belichtung, bzw. im anschließenden Entwicklungsprozess bilden sich sogenannte Bragg-Ebenen aus. Über die Modulation des Brechungsindex n_1 kann der Beugungswirkungsgrad eingestellt werden. Volumengitter können einen Beugungswirkungsgrad nahe $\eta = 1$ erreichen. Parasitäre Beugungsordnungen können vollständig unterdrückt werden.

Für die Belichtung von Volumengittern stehen unterschiedliche Materialien zur Verfügung. Diese können sich beispielsweise auf einem Glassubstrat oder auf einer Trägerfolie befinden. DCG (engl.: dichromated gelatin) erfordert eine nasschemische Entwicklung. Zudem treten bei der Verarbeitung starke Schichtdickenschwankungen des DCG-Films auf. Die Folge sind Abweichungen zwischen Aufnahme- und Rekonstruktionsgeometrie. Auch wenn beispielsweise bei einer Planwelle-zu-Planwelle-Geometrie eine Änderung der Schichtdicke im Winkel vorgehalten werden kann, so liegt die letztlich erreichte Winkel-Reproduzierbarkeit dennoch im Bereich von ca. 1° deg.

Photopolymere ermöglichen bessere Winkel-Reproduzierbarkeit. Das HRF[®]-Material von DuPont und Dai Nippon Printing benötigt eine thermische Nachbehandlung bei 120°C . Die Schrumpfung ist geringer als bei DCG. Die Winkel-Reproduzierbarkeit der Winkel liegt im Bereich von ca. $0,5^\circ$ deg.

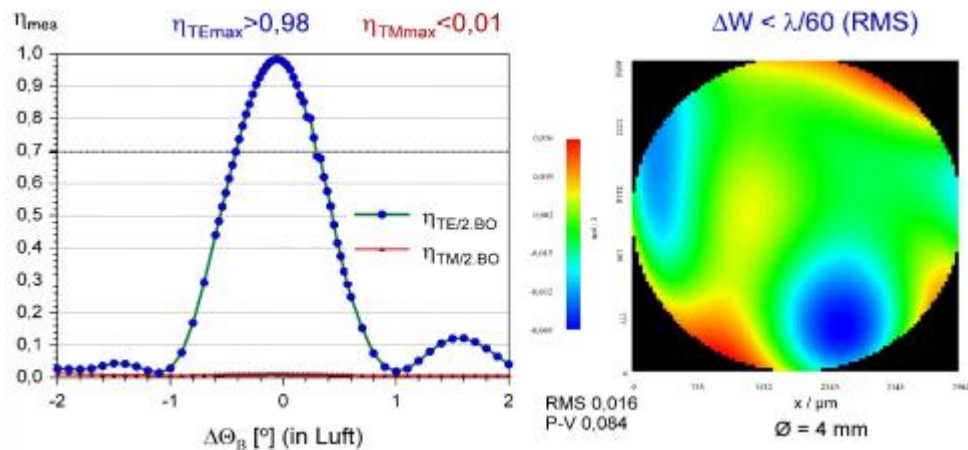
Neue Photopolymere der Firma Covestro (Bayfol[®] HX) basieren auf einem Matrix-Ansatz. Dies ermöglicht eine Winkel-Reproduzierbarkeit von $< 0,1^\circ$ deg. Somit entspricht die Rekonstruktion nahezu der Aufnahme. Zudem erfolgt nach der Belichtung der Gitter nur ein Bleich-Prozess unter LED-Beleuchtung. Dieses Material eröffnet neue Möglichkeiten in der Anwendung von Volumengittern.

Volumengitter haben spezifische Eigenschaften. Die Winkel- und Wellenlängenselektivität ist wesentlich schmäler als bei Oberflächenreliefgittern. In Figur 1 ist die berechnete Winkel- und Wellenlängenselektivität eines Volumengitters dargestellt, welches eine Dicke von $d_{\text{HOE}} = 20\ \mu\text{m}$ aufweist. Dargestellt ist der Bereich von $\Delta\lambda = \pm 100\ \text{nm}$ und $\Delta\theta_R = \pm 5^\circ$ deg. Winkel- und/oder Wellenlängenbereiche können gezielt aus propagierenden Wellenfeldern ausgeschnitten und in Design-Wellenfelder transformiert werden. Über die Dicke kann die Selektivität eingestellt werden. Volumengitter eignen sich zur Strahlführung von Laserstrahlung. Dabei können vielfältige Geometrien realisiert werden.



Figur 1: Berechnete Winkel- und Wellenlängenselektivität eines Volumengitters. Die Volumengitterdicke ist $d_{\text{HOE}} = 20 \mu\text{m}$. Die Designwellenlänge ist $\lambda = 532 \text{ nm}$. Die Gitterperiode ist ca. 500 nm .

Für bestimmte Beugungswinkel besteht die Möglichkeit, polarisationsselektive Funktionen zu implementieren. Auf der linken Seite von Figur 2 ist der gemessene Beugungswirkungsgrad eines Volumengitter-Polarisationsstrahlteilers (engl.: polarization beam splitter, PBS) für TE- und TM polarisiertes Licht dargestellt. Die Auslegung auf die 2-te Bragg-Beugungsordnung ermöglicht es, mit größeren Gitterperioden zu arbeiten. Dies vereinfacht die Belichtung und ermöglicht auch Beugungswinkel, welche das jeweils verwendete Material unter Umständen nicht mehr mit hohem Modulationskontrast auflöst.



Figur 2: Links: Gemessener Beugungswirkungsgrad eines Volumengitter-Polarisationsstrahlteilers (engl.: polarization beam splitter, PBS) für TE- und TM polarisiertes Licht bei $\lambda = 650 \text{ nm}$. Die Trennung der Polarisationen ist besser als 100:1. Rechts: Gemessene Wellenfront des von einem Volumengitter gebeugten Lichtes. Die Austrittsebene des Volumengitters wurde auf die Detektionsebene abgebildet. Die Wellenfront-Aberration über eine Apertur von 4 mm Durchmesser ist kleiner als $\lambda/60$.

Mehrere Rekonstruktions-Geometrien können in ein einzelnes Volumengitter belichtet werden. Dies ist beispielsweise für Display-Anwendungen interessant. Dabei wird mit drei Grundfarben gearbeitet. Beispielsweise können Laserdioden der Wellenlänge 450 nm, 520 nm und 640 nm verwendet werden.

Die optische Funktionalität klassischer Volumengitter ermöglicht ihren vielfältigen Einsatz in der Photonik. Der neue Ansatz longitudinal apodisierter Volumengitter ermöglicht weitere, auf die jeweilige Anwendung adaptierbare Charakteristika.

Am Technologie Campus Teisnach der Technischen Hochschule Deggendorf akkumulieren sich über 20 Jahre praktische und theoretische Erfahrung im Umgang mit Volumengittern, der Berechnung, dem Prozessieren und der Systemintegration.

Der Technologie Campus Teisnach bietet Beratung für Volumengitter-System-Integration und die Simulation optischer System an. Die Funktion einzelner Volumengittern kann berechnet werden. Mit der am Technologie Campus Teisnach vorhanden Software Raytrace (Universität Erlangen-Nürnberg, Prof. Dr. Norbert Lindlein) ist es möglich, die Simulation von Volumengittern mit der Simulation klassischer optischer Systeme zu verbinden.

Kontakt:

THD - Technische Hochschule Deggendorf

Deggendorf Institute of Technology

Edlmairstraße 6 + 8

D-94469 Deggendorf

Prof. Dr. Gerald Fütterer

Tel. Deggendorf: +49 (0)991/3615 533

Tel. TC-Teisnach: +49 (0)9923/8045 415

E-Mail: gerald.fuetterer@th-deg.de

www.th-deg.de

www.tc-teisnach.th-deg.de