

Kurzzusammenfassung Doktorarbeit

'Characterization of photorefractive polymer-composites for real-time NIR applications',

Sebastian Köber, Universität zu Köln 2012

Kurzzusammenfassung

Die vorliegende Arbeit beschäftigt sich mit der Optimierung photorefraktiver Polymerkomposite im Hinblick auf Echtzeitanwendungen im nahinfraroten Spektralbereich. Der zugrundeliegende photorefraktive Effekt bezeichnet dabei eine lichtinduzierte Brechungsindexänderung des Materials als Antwort auf eine Belichtung durch ein Interferenzmuster. Dies entspricht physikalisch der Aufzeichnung eines Phasenhologramms. Infolge der zugrunde liegenden elektronischen und nicht-linear optischen Komponente des photorefraktiven Effektes sind diese physikalischen Änderungen komplett reversibel, der Effekt erlaubt daher die Nutzung der Materialien als flüchtige Speicher für holographische Echtzeitanwendungen.

Zum Schreiben eines Hologramms ist die Überlagerung zweier gegenseitig kohärenter Strahlen zur Erzeugung eines Interferenzmusters zwingend notwendig. Aus diesem Grund ist das photorefraktive Material in der Lage, inkohärente von kohärenter Beleuchtung zu trennen.

Diese Eigenschaft macht sich die HOI-Technik (engl. Holographic Optical Coherence Imaging) zunutze. Sie ermöglicht die tiefenaufgelöste holographische Bilderzeugung in biologischen Strukturen, wie z.B. oberen Hautschichten oder dem Auge. Der Anspruch dieser Technik an das holographische Material ist dabei besonders in Bezug auf dessen Ansprechgeschwindigkeit enorm.

Die Leistungsfähigkeit eines photorefraktiven Materials wird durch dessen Sensitivität quantifiziert. Eine hohe Sensitivität wird daher in Kompositen erreicht, die eine hohe Beugungseffizienz innerhalb möglichst kurzer Ansprechzeit erzeugen. Experimentell wird die Sensitivität durch holographisches „Wellen-Mischen“ ermittelt. In ausgesuchten Fällen werden die auf diese Weise erhaltenen Ergebnisse zusätzlich durch photo-elektrische Daten diskutiert.

Die photorefraktiven Materialien in dieser Arbeit beruhen auf dem sogenannten „Wirt-Gast“ System, d.h. die funktionellen Eigenschaften werden durch diskrete Moleküle in einer Polymermatrix erzeugt. Üblicherweise bestehen diese Systeme aus einem lochleitenden Polymer, nichtlinear-optischen Chromophoren und Sensibilisatoren; letztere werden dem System zur Ladungsträgererzeugung im nahinfraroten Wellenlängenbereich beigemischt. In dieser Arbeit werden sukzessive jede dieser Komponenten in Bezug auf die Sensitivität des resultierenden Komposites optimiert.

Der Vergleich von Kompositen bestehend aus neuartigen Lochleiterpolymeren auf Basis von Triarylaminen mit einem Literatur-bekanntem Referenzpolymer, Polyvinylkarbazol, erzielt eine um den Faktor 3–5 gesteigerte Sensitivität. Diese lässt sich weiterhin um einen Faktor 5 durch Optimierung des Sensibilisatorgehaltes erhöhen.

Bisherige Literatur-bekanntes Polymerkomposite basieren beinahe ausschließlich auf Lochtransport-Materialien. Die in dieser Arbeit eingesetzten Sensibilisatoren sind hingegen Elektronenakzeptoren und ermöglichen daher in hoher Konzentra-

tion Elektronentransport in dem Komposit. Durch Verwendung einer neuartigen Mischung aus substituierten Fulleren-Derivaten ist es möglich, innerhalb einer Materialserie den Übergang von reinem Lochtransport auf vorwiegend Elektronentransport durch Änderung der Zusammensetzung zu zeigen. Dieser Vorgang lässt sich sehr elegant über das holographische Wellen-Mischen nachweisen. Weiterhin wird ein zusätzlicher experimenteller Beweis durch photo-elektromotorische Kraftmessungen erbracht.

Der teilweise Austausch der in den Kompositen überwiegend verwendeten Chromophore durch zielgerichtet optimierte Moleküle basierend auf Merocyaninen erzeugt hingegen keine nennenswerte Leistungssteigerung. Als Grund ist hier die geringe Kompatibilität der polaren Merocyanine mit den eher unpolaren Lochleiterpolymeren zu nennen.

Weitere Verbesserungen der Sensitivität werden innerhalb dieser Arbeit durch Variation der eingesetzten Sensibilisatoren erzielt. Es wird gezeigt, dass eine Verringerung des Reduktionspotentials des Elektronen-Akzeptors Sensitivitätssteigerungen um bis zu einer Größenordnung erlauben. Diese Verbesserung ist durch eine geringere Rekombinationsrate der gegenseitig geladenen Ladungsträger bedingt. In ähnlicher Weise erbringt die Steigerung der Kompositabsorption, erzielt durch eine Verringerung der Bandlücke des Sensibilisators durch chemische Substituierung, eine Erhöhung der Sensitivität um ca. zwei Größenordnungen.

Das Einbringen nicht-absorbierender Elektronenakzeptoren hingegen verringert in günstiger Weise das zur maximalen Beugungseffizienz notwendige elektrische Feld. Ein Derivat des höheren Fulleren-Moleküls C_{84} erlaubt die effiziente Sensibilisierung der photorefraktiven Komposite für einen Wellenlängenbereich, der zur holographischen Bilderzeugung des Auges besonders günstig ist.

Ein praktischer Nachweis der gezeigten Sensitivitätsunterschiede wird durch getaktete Schreib-Löschzyklen mit Wiederholungsraten im Videobereich aufgezeigt. In einem der Triarylamin-basierten Materialien wird durch diese Technik eine aufeinander abfolgende Erzeugung von 7 Millionen Hologrammen unter Referenzbedingungen gezeigt. Weiterhin wird ein Nachweis der Bilderzeugungsfähigkeiten des Materials durch holographisches Abbilden eines künstlich erzeugten sphärischen Rattentumors gezeigt. Der Einsatz der photorefraktiven Materialien als aktive Komponente in integrierten photonischen Schaltkreisen wird anhand von Wellenleitung im Material diskutiert.