

Entwicklung und Anwendung von Lichtlenkelementen auf Glas über Kontaktlithographie mit organisch – anorganischen Nanokompositen

M. Mennig, P. W. Oliveira, M. Geerkens, P. Rogin, G. Marchand, H. Schmidt
Institut für Neue Materialien, Saarbrücken

Einleitung und Zielsetzung

Bei den holografischen Lichtlenkelementen (LLE) handelt es sich um brechungsindexmodulierte Filme, die in Abhängigkeit vom Betrachtungswinkel sowohl lichtstreuende als auch transparente Eigenschaften in sich vereinen[1]. Eine Brechungsindexmodulation kann z.B. durch einen kontaktlithografischen Prozess innerhalb eines photosensitiven Materials erzeugt werden. Ein geeignetes photosensitives Material ist ein s.g. Photopolymerfilm [2][3]. Prinzipiell ist das Photopolymer aus einem polymeren Binder (z.B. Polyester oder Cellulosederivaten), einer radikalisch polymerisierbaren Komponente (z.B. einer Acrylsäure oder deren Ester) und einem Photostarter (z.B. mehrkernige Chinon-Derivate wie Phenanthrenchinon) aufgebaut[4]. Die Brechungsindexmodulation basiert auf der Schaffung von lokalen Konzentrationsgradienten von Verbindungen, die sich in ihrem Brechungsindex hinreichend unterscheiden. Nach dem Mechanismus von Colburn und Haines[5] führt der lithografische Prozess aufgrund lokaler Strahlungsintensitätsunterschiede im Film zur regional limitierten Polymerisation des Monomers. Dadurch verarmen belichtete Filmregionen an Monomer. Wegen des resultierenden Konzentrationsgradienten zwischen belichteten und unbelichteten Filmregionen diffundieren die relativ kleinen Monomermoleküle aus den unbelichteten Regionen in die belichteten Zonen. Resultat ist eine Anreicherung von polymerisiertem Monomer in den belichteten Bereichen, während die Konzentration des nicht polymerisierbaren Materials in den unbelichteten Regionen ansteigt. Zur Fixierung der Modulation wird der Film gleichförmig belichtet, mit der Folge, dass verbliebene Monomere polymerisieren. Bei den organisch-anorganischen Nanokompositen (Photonanomere) wird durch den Einsatz von nanoskaligen, anorganischen Partikeln (z.B. ZrO_2), dispergiert in einer flüssigen, härtbaren Matrixphase, der im Vergleich zu organischen Verbindungen, höhere Brechungsindex von geeigneten anorganischen Partikeln (z.B. TiO_2 , Ta_2O_5 , ZrO_2) ausgenutzt. Dadurch gelingt die Steigerung der Brechungsindexmodulation gegenüber photopolymeren Filmen[6]. Als Matrix für diese nanopartikulären Systeme kommen anorganische oder organisch modifizierte anorganische Spezies, vorzugsweise hydrolytisch polykondensierbare Siliziumverbindungen (z.B. 3-Methacryloxypropyltrimethoxysilan (MPTS)) zum Einsatz. Die Nanopartikeloberfläche ist mit polymerisationsfähigen Liganden (z.B. Methacrylsäure (MAS)) ausgestattet. Diese Funktionen befähigen die Nanopartikel zur gerichteten Migration im Sinne des Mechanismus von Colburn und Haines[5] und sind damit verantwortlich für die Ausbildung der Stoffgradientenstruktur, die die Grundlage zur Ausbildung einer brechungsindexmodulierten Schicht ist. Die Verwendung einer flüssigen Matrix besitzt Handhabungsnachteile. Abhilfe schaffen hier Photonanomere mit einer

gelartigen, aber noch härtbare Matrix[7]. Als Matrixmaterial können z.B. Polymere wie PVAc oder PVB verwendet werden. Zudem besteht die Option, das Polymer durch hydrolysierbare und kondensierbare Verbindungen zu ergänzen. In einer speziellen Belichtung des Photonanomers können LLE - Filme hergestellt werden, die senkrecht einfallendes Licht in einem kleinen Winkelbereich stark streuen, schräg einfallendes Licht dagegen viel stärker gerichtet transmittieren. Dieses Verhalten eignet sich hervorragend für Projektionsschirme, die das einfallende Licht sehr viel effizienter ins Auge des Betrachters lenken als konventionelle Leinwände und zudem unempfindlicher sind gegen diffuses Streulicht. Ziel der vorgestellten Untersuchungen ist die Herstellung entsprechender Photonanomer basierender LLE - Filme (PN-LLE) direkt auf Glas- bzw. Spiegeloberflächen zur Verwendung als Projektionsschirme.

Experimentelles

1. Synthese des Photonanomer - Sols

In einer Polymer-Lösung wurde MPTS säurekatalytisch hydrolysiert. Separat erfolgte die Synthese des $Zr(MAS)_2$ – Komplexes aus Zr(IV)butylat und Methacrylsäure (MAS). Dieser Komplex wurde in die Polymer - MPTS – Matrix eingeleitet und abschließend zur Erzeugung der ZrO_2 –Nanopartikel mit einer halbstöchiometrischen Menge Wasser zur Reaktion gebracht. Als weitere Hilfsstoffe wurden dem Sol Weichmacher, Verlaufsmittel, eine radikalisch vernetzende Komponente sowie ein Photostarter zugesetzt.

2. Herstellung und Aushärtung der lichtlenkenden Schichten

Mittels eines Rakels wurde das Photonanomer-Sol auf Glas, bzw. dem Spiegel appliziert. Die Schichten kamen zur Trocknung bei 140°C für wenige Minuten in den Ofen. Auf die Schicht wurde eine Belichtungsmaske laminiert und bei einer Substrattemperatur von 70°C der lithografische Prozess durchgeführt.

Ergebnisse

Aus dem Herstellungsprozess resultiert ein 65 μm dickes PN-LLE auf Glas-, bzw. ein 63 μm dickes PN-LLE auf einem Spiegel. In Bild 1 ist die direkte Transmission dieser PN-LLEs als Funktion des Einfallswinkels im Bereich von -30° bis 30° dargestellt. Die direkte Transmission (T_{direkt}) wird wie folgt ermittelt: $T_{\text{direkt}} = (\text{haze}/100) * T_{\text{Gesamt}}$ [%].

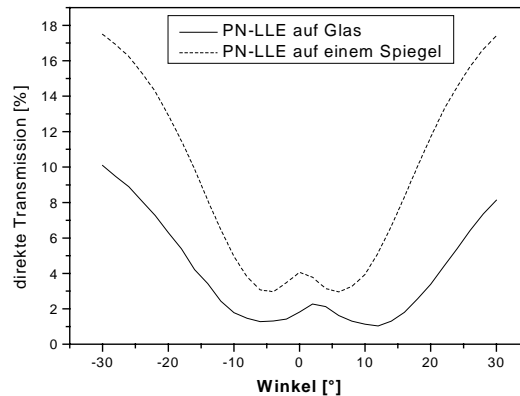


Bild 1 Die winkelabhängige direkte Transmission des PN-LLEs auf Glas bzw. einem Spiegel zeigt deutlich ein optisch anisotropes Verhalten. In einem Winkelbereich von ca. -30° bis -10° und von 10° bis 30° wird das auftreffende Licht stärker transmittiert als in dem Bereich von ca. -10° bis $+10^\circ$. Für die Messung musste das PN-LLE vom Spiegel abgetrennt werden.

Bild 1 zeigt, dass Licht mit einem Einfallswinkel im Bereich von -30° bis ca. -10° und ca. $+10^\circ$ bis $+30^\circ$ stärker transmittiert wird, als Licht das mit einem Winkel von -10° bis ca. 10° auf die LLEs trifft. Für die geringe direkte Transmission in dem Winkelbereich von ca. -10° bis 10° ist die im PN-LLE erzeugte Brechungsindexmodulation verantwortlich. Sie führt zu einer effizienten Streuung der auftreffenden Strahlung. So besitzt das auf Glas erzeugte PN-LLE einen Haze Wert für senkrecht auftreffendes Licht von 97,2 %, und das auf einem Spiegel erzeugte PN-LLE 94,7 % Haze. Diese Kombination aus winkelabhängiger Lichtstreuung und guter Transmission ist grundlegend für die effiziente Lenkung von Licht. Das farbliche Erscheinungsbild der PN-LLEs wurde durch Aufnahme der $L^*a^*b^*$ Farbwerte unter Verwendung des D65, 10° Systems charakterisiert (Tabelle 1).

Tabelle 1 $L^*a^*b^*$ - Farbwerte von PN-LLEs auf Glas und einem Spiegel

	L^*	a^*	b^*
PN-LLE auf einem Spiegel ^{*)}	96,09	-0,65	2,14
PN-LLE auf Glas ^{*)}	96,00	-0,64	1,99

^{*)} Beide PN-LLE wurden aus messtechnischen Gründen vom Substrat getrennt untersucht.

Aus Tabelle 1 ist zu entnehmen, dass sich die PN-LLEs durch einen hohen Helligkeitswert (L^*) und relativ kleine Abweichungen der Farbwerte a^* (rot – grün Verschiebungen) und b^* (blau – gelb Verschiebung) von 0 auszeichnen. Demnach geben die PN-LLEs auf ihnen projizierte Abbildungen farbgenau wieder. Im nachfolgenden Bild 2 ist die Anwendung eines PN-LLEs auf einem Spiegel als Leinwand (a, linker Teil) und eines PN-LLEs auf Glas, als Rückprojektionsfolie (b) dargestellt. Hierzu wurde eine Grafik mittels eines Computerbeamers auf die jeweiligen PN-LLEs projiziert.

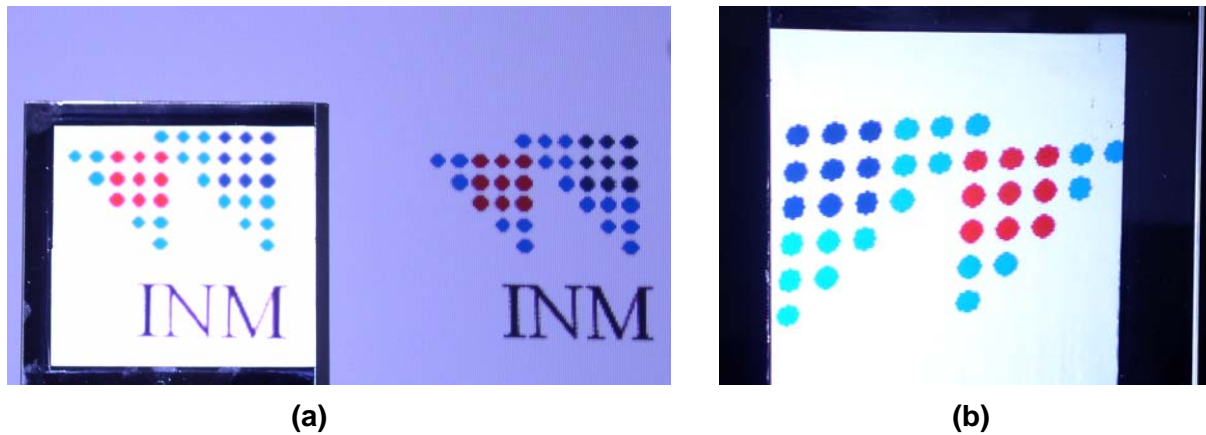


Bild 2 (a) links: PN-LLE auf einem Spiegel **rechts:** handelsübliche Leinwand. Aufgrund der winkelabhängigen Transmission- und Lichtstreuungseigenschaften sind die auf der PN-LLE / Spiegel – Kombination projizierten Bilder brillanter als auf einer konventionell, ungerichtet streuenden Leinwand.

(b) Das PN-LLE auf Glas dient als Rückprojektionsleinwand und zeigt eine brillante Abbildung des auf ihr projizierten Bildes.

Das PN-LLE auf einem Spiegel im linken Teil von Bild 2 a zeigt eine deutlich brillantere Abbildung des auf ihr projizierten Bildes als die Bildprojektion auf einer konventionellen Leinwand im rechten Teil von Bild 2 a. Diese hohe Brillanz veranschaulicht die vorteilhafte Wirkung der winkelabhängigen Streu- und Transmissionseigenschaften des PN-LLEs gegenüber einer konventionellen, ausschließlich ungerichtet lichtstreuenden Projektionsleinwand. Entsprechend bildet auch das PN-LLE auf Glas eine rückseitig projizierte Bild mit hoher Leuchtkraft ab (Bild 2 b).

Zusammenfassung

LLEs auf Photonanomer-Basis sind mittels eines kontaktlithografischen Verfahrens auf einem Spiegel und einem Glassubstrat herstellbar. Die winkelabhängige Transmission zeigt eine deutliche Anisotropie, und die Messung der $L^*a^*b^*$ Werte weist die Farbneutralität der PN-LLEs nach. Das als Leinwand verwendete PN-LLE auf einem Spiegel gibt das auf ihr projizierte Bild deutlich brillanter wieder als eine konventionelle ungerichtet streuende Leinwand. Aufgrund dieser guten Projektionseigenschaften wurde zudem die Anwendung des PN-LLE als Rückprojektionsleinwand demonstriert.

Literatur

- ¹ Mike G., Land D., WO 2000068712A (2000)
- ² Maeda K.; Yamamoto H; Takigawa A., US 6524771 (2003)
- ³ Monroe B., Smothers W. K., DE 68914470T2 (1989)
- ⁴ Haugh E.,US 3658526 (1972)
- ⁵ Colburn, Haines, Appl. Optics, 10(7), 1636 (1971)
- ⁶ Schmidt H, Krug H., Oliveira P., Sepeur S., DE 19613645A1 (1996)
- ⁷ Dellwo U., Mennig M., Oliveira P., Schmidt H., Schneider H., DE 10200648A1 (2002)