

Zur Herstellung optischer Mikrostrukturen durch Prägen thixotroper Gelschichten

A. Gier, M. Mennig, H. Schmidt
Institut für Neue Materialien INM, gem. GmbH; Saarbrücken

Einleitung

Mikrostrukturen auf Glas- und Kunststoffsubstraten werden für die unterschiedlichsten Anwendungen eingesetzt (Produktsicherung mit holographischen Mustern, Lichtstreuung und -leitung im Displaybereich u. a.).

Für diese Anwendungen sind die verwendeten Materialien auf die Prozeßgeschwindigkeit oder auf hohe Strukturwiedergabe optimiert. Im Stand der Technik werden thermoplastische Polymere eingesetzt, mit denen die Fertigung von Mikrostrukturen über einen Walzenprozeß mit einer Geschwindigkeit von bis zu 60 m/min möglich ist. Der Nachteil liegt dabei in der Relaxation der Strukturen nach dem Herausfahren der geheizten Prägwalze; die Herstellung scharfer Strukturkanten (Kantensteilheit $> 80^\circ$) ist nicht möglich. Diese Anforderung kann durch die Verwendung von Photolacken bzw. UV-vernetzbaren Ormoceren [1-5] erfüllt werden. Bei diesem Vorgang ist die Herstellungsgeschwindigkeit meist um eine Größenordnung niedriger, da die Struktur unterhalb des Prägstempels bzw. der Prägwalze mit Hilfe einer UV-Lampe gehärtet werden muß [6].

Das Ziel der Untersuchung bestand daher darin, ein photohärtbares Sol-Gel-Material zu entwickeln, daß kurze Prozeßzeiten durch Walzenprägung mit nachgeschalteter UV-Härtung zuläßt und gleichzeitig Strukturrelaxation vermeidet. Dazu sollte das Beschichtungssol durch Zusatz von nanoskaligen Partikeln ein strukturviskoses Verhalten erlangen, damit unter der Scherbelastung beim Walzen eine Anpassung an die Struktur erfolgt, die nach dem Walzenprozeß bis zur UV-Härtung beständig ist.

Experimentelles

Zur Herstellung der Schichten wurden Nanomer[®]-Sole aus einem methacrylatfunktionalisierten Silan und nanoskaligen ZrO_2 -Partikeln synthetisiert. Das Sol wurde vor dem Beschichtungsvorgang mit Isopropoxyethanol im

Volumenverhältnis von 1 : 1 verdünnt. Nach einer Rakelbeschichtung auf PET-Folie der Größe 20 cm x 30 cm x 0,1 mm wurde die Beschichtung (Naßfilmdicke ca. 10 μm) im Trockenschrank bei 80 °C unterschiedlich lange (1 min, 3 min, 5 min, 10 min) vorgetrocknet. Anschließend wurden mit Hilfe einer Prägwalze (\varnothing 24 cm, Breite 35 cm) Hologramm- und CD-artige Pitstrukturen erzeugt. Die dabei verwendete Vorschubgeschwindigkeit lag gerätebedingt bei ca. 1 m/min mit einem Anpreßdruck von ca. 2 - 4 bar. Die notwendige Fixierung der Struktur erfolgte nach dem Verlassen der Prägwalze durch Belichtung (ca. 100 W/cm^2 , 5 min). Anschließend wurden die Strukturen mit der Rasterkraft- und der hochauflösenden Rasterelektronenmikroskopie charakterisiert.

Ergebnisse und Diskussion

Entscheidend für einen Prägeprozeß mit anschließender UV-Fixierung der Struktur ist die Standfestigkeit des Films nach der Prägung. Um trotzdem eine gute und schnelle Abprägung der Walzenstruktur gewährleisten zu können, muß die Schicht ein strukturviskoses Verhalten zeigen. Viskositätsmessungen an den Beschichtungssolen und an den vorgetrockneten Schichten ergaben, daß das flüssige Beschichtungssol ein rein Newtonsches Fließverhalten zeigt, die Viskosität von 49 $\text{mPa}\cdot\text{s}$ ist über den gesamten Scherbereich unabhängig von der Scherrate. Nach der thermischen Trocknung und dem damit verbundenen Abdampfen des Lösemittels ergibt sich der in Bild 1 gezeigte Viskositätsverlauf.

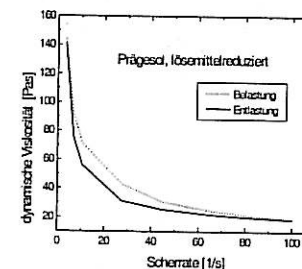


Bild 1: Viskositätskurven des vorgetrockneten Beschichtungsfilms bei steigenden und fallenden Scherraten.

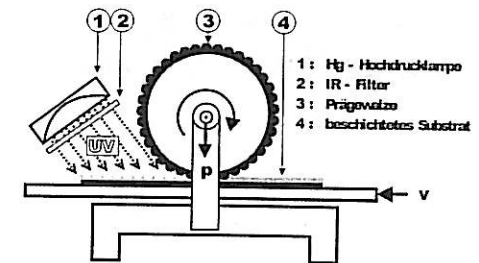


Bild 2: Schematische Darstellung der automatischen Prägeanlage mit nachgeschalteter UV-Härtung.

Man erkennt aus Bild 1 einen deutlichen Abfall der Viskosität bei steigender Scherrate, so daß hier durch das Entfernen des Lösemittels und der damit verbundenen Erhöhung des Feststoffanteils eine Strukturviskosität erhalten wird.

Deutlich wird auch ein Unterschied in der Steigung der Be- und Entlastungskurve, also ein thixotropes Verhalten.

Für den Strukturierungsprozeß wurde eine Prägeanlage aufgebaut, wie sie in Bild 2 schematisch dargestellt ist. Die zu prägende Struktur (Nickelfolie) wurde auf eine massive Metallwalze aufgeklebt. Die Härtung der Schicht und damit die Fixierung der Strukturen erfolgte mit Hilfe einer UV-Lampe, wobei ein IR-Filter das Substrat vor Überhitzung schützt. Der Anpreßdruck variierte dabei je nach verwendeter Struktur und Schichtzusammensetzung zwischen 2 bar und 4 bar. Bei den Schichten mit einer Trocknungszeit von 5 Minuten hafteten Reste des Beschichtungssol am Nickelstempel. Erst bei einer Verlängerung 10 Minuten wurde eine vollständige Abprägung erreicht. Geprägt wurden zum einen Hologramme und zum anderen digitale Strukturen, die für die optische Datenspeicherung verwendet werden können. In den beiden folgenden Bildern sind eine Photographie eines Hologrammes und eine rasterelektronenmikroskopische Aufnahme einer digitalen Struktur gezeigt.

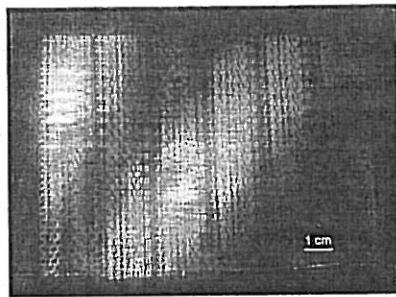


Bild 3: Photographie eines über Walzenprägung strukturierten holographischen Musters (Fläche: 200 mm x 100 mm).

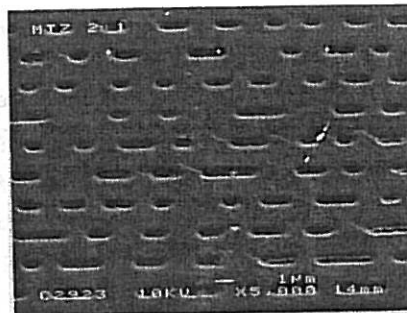


Bild 4: rasterelektronenmikroskopische Aufnahme einer über Walzenprägung aufgetragenen digitalen Struktur (Fläche: 80 mm x 80 mm).

Man erkennt aus Bild 3, daß über die gesamte geprägte Fläche (200 mm x 100 mm) eine homogene Prägung möglich ist. Daneben belegt Bild 4, daß trotz der nachgeschalteten UV-Härtung keine signifikante Relaxation der Strukturen auftritt. Zum Nachweis der sehr hohen Kantensteilheit wurden die in Bild 4 gezeigten digitalen Strukturen mit Hilfe eines Rasterkraftmikroskops näher untersucht. Eine entsprechende Aufnahme ist in Bild 5 gezeigt.

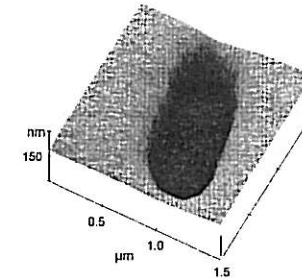


Bild 5: Rasterkraftmikroskopische Aufnahme einer geprägten digitalen Struktur.

Aus der rasterkraftmikroskopischen Aufnahme erkennt man, daß die Strukturen mit einer hohen Kantensteilheit sehr genau wiedergegeben werden können. Der Verlust der Geometriegenauigkeit ist damit trotz der nachgeschalteten Härtung vernachlässigbar.

Zusammenfassend kann gesagt werden, daß eine Nanomer[®]-Beschichtung entwickelt wurde, die eine sehr schnelle und variable Herstellung von Mikrostrukturen erlaubt, da zum einen Beschichtungs- und Prägeprozeß voneinander getrennt werden können und zum anderen durch die nachgeschaltete UV-Härtung hohe Prägegeschwindigkeiten erzielt werden können.

Derzeit wird die industrielle Umsetzung des Verfahrens gemeinsam mit der Fa. Topac Multimedia Print GmbH untersucht. Dabei werden entsprechende Mikrostrukturen auf einer beschichteten Kunststoffolie über das Walzenverfahren erzeugt. Bisher konnten dabei Prägegeschwindigkeiten bis 30 m/min erreicht werden.

- [1] M. Popall, J. Kappel, M. Pilz, J. Schulz; VDI Bericht Nr. 933, 1991, S. 139-161
- [2] K. Goto, K. Mori; Japanese J. of Applied Physics, Vol 31, 1992, S. 1586-1590
- [3] H. Krug, N. Merl, H. Schmidt; J. Non-Chryst. Solids. 147&148 (1992) 447-450
- [4] H. Krug, F. Tiefensee, P.W. Oliveira und H. Schmidt; SPIE Vol. 1758 (1992) 448
- [5] J.E. Chisham, M.P. Andrews, C.-Y. Li, S.L. Najafi, A. Malek-Tabrizi; SPIE Vol. 2695, 1996, S. 52-56
- [6] A. Gombert et al., Thin Solid Films 351 1-2 (1999)