

# Nanoimprint Lithographie auf nicht-planaren Oberflächen mittels einer Kombination aus flexiblen und vorgeformten Imprintstempel

Nina Schneelee, Christian Eder, Andreas Heinrich

Zentrum für Optische Technologien, Hochschule Aalen

<mailto:christian.eder@hs-aalen.de>

Mikro- und Nanostrukturen sind in verschiedenen Bereichen von großer Bedeutung. In diesem Beitrag stellen wir einen Ansatz vor, wie nicht-planare Stempel für die UV-Nanoimprint Lithographie hergestellt werden können. Wir verwenden eine Negativform aus transparentem Kunststoff und kombinieren sie mit einer flexiblen PDMS-Folie mit Nanostrukturen.

## 1 Einleitung

Die Weiterentwicklung von Technologien wie Augmented Reality (AR) erfordert zunehmend komplexe Beugungselemente für die Holografie oder Wellenleiter [1][2]. Um solche Strukturen im Mikro- und Nanometerbereich herzustellen, wird die Nanoimprint Lithografie (NIL) eingesetzt. Diese Methode bietet Vorteile wie einen hohen Durchsatz, großflächige Strukturierung und eine hohe Auflösung [3].

Für den NIL-Prozess ist die Herstellung eines Stempels mit Negativstrukturen eines Masters mit Nanostrukturen erforderlich. Der Stempel kann aus harten oder weichen Materialien bestehen, wobei ein weiches Material den Vorteil eines formschlüssigen Kontakts zu einem Substrat bietet [4].

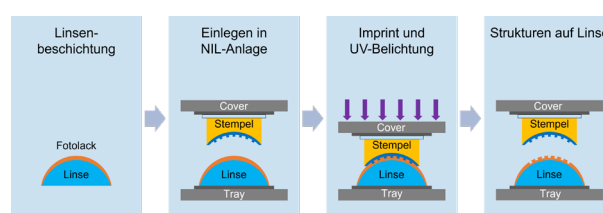
In diesem Paper wird untersucht, wie der NIL-Prozess für die Strukturierung von konvexen Linsen anstatt von planaren Substraten angepasst werden kann. Dazu wird ein Stempel aus einer Negativform der Linse hergestellt, der aus einer Folie mit Nanostrukturen und dem weichen Material Polydimethylsiloxan (PDMS) besteht. Mit einer NIL-Anlage von der EV Group sollen Strukturen auf Linsen übertragen werden, wobei der Prozess sowohl mit als auch ohne Druck durchgeführt wird. Die Stabilität der Strukturen und die Formtreue werden anschließend bewertet, um den Prozess zu beurteilen.

## 2 Prozesskonzept

Um nanoskalige Strukturen auf gekrümmte Substrate zu übertragen, verwenden wir eine Abwandlung des etablierten Soft-NIL-Prozesses [4]. Unser angepasster Prozess ist in **Abb. 1** gezeigt. Typischerweise wird ein Substrat, in unserem Fall eine konvexe Linse, mit einem UV-sensitivem Fotolack beschichtet. Ein Stempel mit dem Negativ, der zu übertragenden Struktur, wird in Kontakt mit dem Fotolack gebracht und durch UV-Strahlung ausgehärtet.

Unsere Adaption sieht als Stempel eine Negativform des Substrats (Gelb in **Abb. 1**), auf welches

geprägt werden soll. Auf dieser Stempelform befindet sich eine dünne, nanostrukturierte Folie.



**Abb. 1** Schematische Darstellung des Prozesskonzepts für die Replizierung von Nanostrukturen auf gekrümmten Substraten.

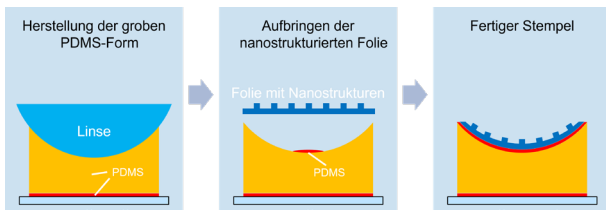
In dieser Arbeit vergleichen wir zwei Methoden um den Prozess in aus **Abb. 1** durchzuführen. Zum einen einen manuellen Prozess, bei dem Substrat mit Fotolack und Stempel in entsprechenden Werkzeugen aufeinander gebracht werden. Zum anderen einen automatisierten Prozess in einer NIL-Anlage der EVG-Group, bei dem während des Prägens ein konstanter Druck aufgebracht wird.

## 3 Stempelherstellung

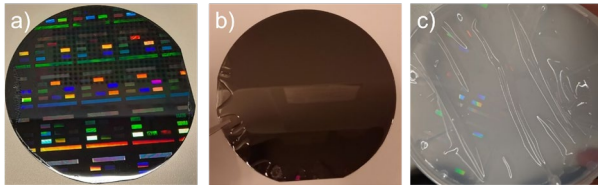
Die grobe Stempelform sowie die strukturierte Folie werden einzeln gefertigt. Beide Komponenten bestehen aus flexiblem PDMS. Bei dem Stempel können so mögliche Formabweichung verschiedener Substrate ausgeglichen werden. Die flexiblen Eigenschaften der Folie ermöglichen es sich an die Krümmung des Substrats anzupassen ohne zusätzliche Bearbeitungsschritte (wie z.B. Erwärmen).

Für die Herstellung der groben Stempelform, wird flüssiges PDMS zwischen ein Mustersubstrat (in unserem Fall eine konvexe Linse mit einem Krümmungsradius von 125 mm) und einem planaren Substratträger ausgehärtet (**Abb. 2** links).

Die nanostrukturierte Folie stellen wir in vereinfachtem NIL-Prozess her (**Abb. 3** a) & b)). Die Folie kann nach dem Prägen vom Wafer abgezogen werden (**Abb. 3** c)). Beide Komponenten werden anschließend durch PDMS verbunden (**Abb. 2** mitte & links).



**Abb. 2** Schematische Darstellung der Stempelherstellung mit Aufbringen der flexiblen Folie mit Nanostrukturen.



**Abb. 3** Herstellungsprozess der Nanostrukturierten Folie. In a) Strukturiertes Master, b) Spin-Coating von PDMS auf Master und c) fertige PDMS Folie mit replizierten Strukturen.

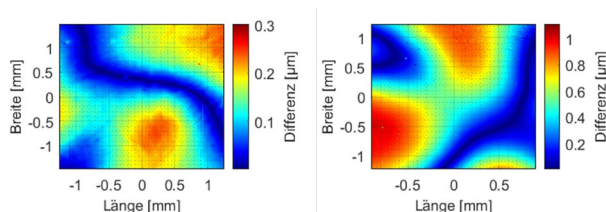
#### 4 Ergebnisse & Prozessbewertung

Um unseren Soft-NIL-Prozess zu bewerten, untersuchen zum einen die Oberfläche der abgeformten Strukturen für die Methode mit und ohne Druck. Zum anderen untersuchen wir Formtreue der konkaven bzw. konvexen Oberfläche von Stempel und Replikat.

Zur Untersuchung der Strukturen betrachten wir zwei Strukturen der binären Gitter des Masters aus **Abb. 3 a**). Die Strukturnummer 3 besitzt eine Periode von 10  $\mu\text{m}$  und eine Strukturhöhe von 60 nm. Die Strukturnummer 9 besitzt eine Periode von 2,3  $\mu\text{m}$  und eine Strukturhöhe von 45 nm.

Die Ergebnisse aus **Abb. 5** zeigen, dass die erwartbare Abweichung der Periodenlängen aller Strukturen weniger als 1 % beträgt. Die Strukturhöhen weisen ähnlich geringe relative Abweichungen auf. Allerdings ist hier zu erwähnen, dass die Abweichung im Bereich unserer Messmittelgenauigkeit von 1 nm liegt. Strukturen die unter Druck repliziert wurden tendieren allerdings dazu höher zu sein.

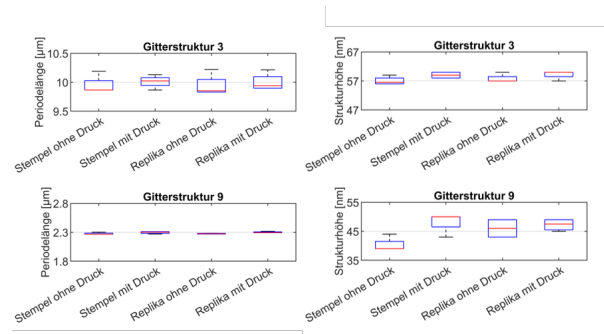
Die Ergebnisse zur Überprüfung der Formtreue sind in **Abb. 4** gezeigt und in **Tab. 1** aufgetragen. Hierbei bewerten wir die Differenz zwischen sphärisch-konvexem Stempel & Replikat. Das Verfahren ohne Anpressdruck zeigt wesentlich geringe Abweichungen zu Stempelform auf.



**Abb. 4** Weißlichtinterferometer-Aufnahmen der Oberflächenabweichungen des Replikats vom Stempel. (Links) Der Prozess ohne Anpressdruck. (Rechts) Prozess mit Anpressdruck.

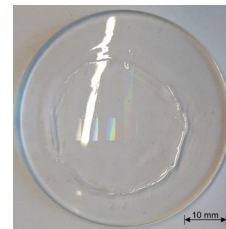
	Kein Anpressdruck	Definierter Anpressdruck
Peak to Valley	300 nm	1100 nm
Standartabweichung	64 nm	283 nm

**Tab. 1** Formabweichung des Replikats mit & ohne Anpressdruck.



**Abb. 5** Ergebnisse der Messung von Nanostrukturen auf Stempel & Replika für den Prozess ohne und mit Anpressdruck.

Wir Schlussfolgern, dass unser angepasster Soft-NIL-Prozess für die Abformung von Nanostrukturen auf gekrümmte Substrate potentiell geeignet ist. Wir haben nur geringe relative Abweichungen im Bereich von 1 % der Strukturen feststellen können. Wobei die absolute Abweichung der Strukturhöhen größer ist und eine Abhängigkeit des verwendeten Anpressdrucks zeigt. Ein Testreplikat ist beispielhaft in **Abb. 6** gezeigt.



**Abb. 6** Lichtbild von replizierten Nanostrukturen auf einer BK7-Linse.

#### Literatur

- [1] Xiong, J., Yin, K., Li, K., Wu, S.-T.: Holographic Optical Elements for Augmented Reality: Principles, Present Status, and Future Perspectives. Adv Photo Res (2021). <https://doi.org/10.1002/adpr.202000049>
- [2] Jang, C., Mercier, O., Bang, K., Li, G., Zhao, Y., Lanman, D.: Design and fabrication of freeform holographic optical elements. ACM Trans. Graph. (2020). <https://doi.org/10.1145/3414685.3417762>
- [3] Taniguchi, J.: Nanoimprint Technology. Nanotransfer for thermoplastic and photocurable polymer. Microsystem and nanotechnology. Wiley, Chichester West Sussex United Kingdom (2013)
- [4] Lan, H.: Soft UV Nanoimprint Lithography and Its Applications. In: Hosaka, S. (ed.) Updates in Advanced Lithography. InTech (2013)