

Additive Fertigung asphärischer Mikrolinsen mittels Dielektrophorese

Murat-Jakub Ilhan*, Mike Dohmen*, Andreas Heinrich*

*Zentrum für Optische Technologien, Hochschule Aalen

mailto:murat-jakub.ilhan@hs-aalen.de

Mikrolinsen sind Bestandteil vieler moderner optischer Systeme. Eine Methode zur additiven Fertigung solcher Mikrolinsen ist das Aushärten von zunächst flüssigen Polymertropfen mithilfe von UV-Bestrahlung. Mittels Dielektrophorese ist ein Verformen der Tropfen vor dem Aushärten möglich, so dass mit diesem Verfahren auch asphärische Mikrolinsen realisiert werden können.

1 Einführung

Moderne optische Systeme stellen zunehmend strengere Anforderungen an ihre verbauten Komponenten. So werden Systeme, wie beispielsweise Smartphone-Kameras, seit Jahren immer kleiner. Hierbei wäre es jedoch wünschenswert, bei einer Reduzierung der Größe des Systems keine Einbuße in der Bildqualität zu schaffen. Um möglichst platzsparend Aberrationen zu korrigieren, werden Freiformoptiken, sog. Asphären, als Elemente in optischen Systemen verbaut. Solche Freiformoptiken könnten z.B. mit Hilfe additiver Fertigungsverfahren realisiert werden. Etablierte Verfahren für die additive Fertigung von Optiken haben allerdings gewisse Nachteile, wie beispielsweise das Ausbilden von Lagestrukturen. Konventionelle Herstellungsprozesse, wie beispielsweise in Abb. 1 dargestellt, erfordern dann eine Nachbearbeitung, wie beispielsweise ein Coating oder eine Politur.



Abbildung 1 Oberfläche einer mittels herkömmlicher additiver Fertigung hergestellte Linse. Eine Schichtstruktur ist klar erkennbar.

Der Ansatz der Dielektrophorese für die additive Fertigung, welcher hier vorgestellt werden soll, zeichnet sich durch einen hohen Individualisierungsgrad, keinen Bedarf an Nachbearbeitung und relativer Kosteneffizienz der herstellbaren Optiken auf.

2 Prinzip

Für die Herstellung asphärischer Mikrolinsen wird zunächst ein flüssiger Harztropfen auf ein Substrat aufgebracht. Die Anforderungen an das verwendete

Material sind einmal eine UV-Reaktivität, welche es ermöglicht, den Tropfen unter Bestrahlung von UV-Licht auszuhärten. Zum Anderen muss das Material ein Dielektrikum sein. Das hier vorgestellte Prinzip der dielektrischen Fertigung von Asphären nutzt ein inhomogenes elektrisches Feld um eine Kraft auf die Dipole des Tropfens zu induzieren, die sog. Dielektrophoretische Kraft.

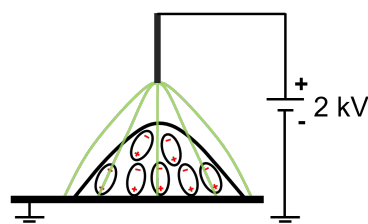


Abbildung 2 Das inhomogene elektrische Feld induziert eine Kraft auf die Dipole im Material.

Abb. 2 zeigt schematisch das Prinzip der Dielektrophorese. Das auf den Tropfen wirkende Kraftfeld hängt hierbei nicht nur von den Dipolen des verwendeten Materials, sondern auch vom angelegten elektrischen Feld selbst ab. Primär ist hier die Inhomogenität des Feldes die zentrale Größe, welche die Krafteinwirkung bestimmt. Auch die verwendete Anodengeometrie und -position, sowie die angelegte Spannung sind relevante Parameter bei der Verformung des flüssigen Polymers, welches dann anschließend mit UV-Licht ausgehärtet wird.

3 Modellierung der Tropfenform

Für eine Beschreibung der Deformation ist eine Modellierung der Tropfenform notwendig. Dabei soll zunächst der Tropfen ohne angelegtes elektrisches Feld modelliert werden. Die sog. Oberflächenspannung γ der Flüssigkeit ist hierbei von zentraler Bedeutung für die exakte Geometrie des Tropfens. Sie ist ein Materialparameter, welcher innerhalb der Young-Laplace-Gleichung die Krümmung des Tropfens an einem bestimmten Punkt mit der Druckdifferenz zwischen dem Inneren und dem Äußeren des Tropfens verknüpft. Diese Gleichung lässt sich als

ein System von Differentialgleichungen umformulieren [1], dessen Lösung u.a. die Koordinaten der Tropfenoberfläche in zwei Dimensionen sind:

$$\frac{dx}{ds} = \cos(\phi)$$

$$\frac{dz}{ds} = \sin(\phi)$$

$$\frac{d\phi}{ds} = \frac{2}{R_0} + \frac{\Delta\rho g z}{\gamma} - \frac{\sin(\phi)}{x}$$

Hier sind R der Krümmungsradius des Tropfens im Apex in der Bildebene, $\Delta\rho$ die Dichtedifferenz zwischen umgebenden Medium und der Flüssigkeit, g ist die Erdbeschleunigung und ϕ der Winkel welcher am Dreiphasenpunkt zum Kontaktwinkel wird.

Das Lösen des Gleichungssystems erfordert also den Wert der Oberflächenspannung des Materials. Eine Methode zur Bestimmung dieses Parameters ist die sog. *Pendant Drop Methode* [1]. Hierbei wird zunächst aus einem Bild eines hängenden Flüssigkeitstropfens die Krümmung aus der Position des Tropfenapexes berechnet. Anschließend wird eine Reihe von Werten für die Oberflächenspannung angenommen und für jeden Wert das entsprechende Gleichungssystem gelöst. Daraufhin werden die berechneten Konturen mit der aus dem Bild extrahierten Kontur des Tropfens verglichen, was in Abb. 3 als blauen Kurve zu sehen ist. Die entsprechende Oberflächenspannung kann dann als Wert für die verwendete Flüssigkeit benutzt werden.

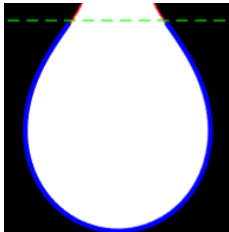


Abbildung 3 Das Ergebnis der Pendant Drop Methode ist die Oberflächenspannung zugehörig zu der blauen Kurve.

Für die Vorhersage der Tropfenform auf einem Substrat ist es neben der Oberflächenspannung notwendig zu wissen, welchen Kontaktwinkel die Flüssigkeit mit diesem einschließt. Der Kontaktwinkel hängt zum einen von der Oberflächenspannung der Flüssigkeit und zum anderen von der Oberflächenenergie des Substrates ab. Hier wurde dazu für die Modellierung der Tropfen der Kontaktwinkel aus einer

Reihe von Bildern berechnet, wie es nachfolgend beschreiben wird.

4 Ergebnisse

In Abb. 4 sind die ersten Ergebnisse einer Tropfensimulation dargestellt. Hierbei wurden die Relevanten Parameter wie Krümmung und Kontaktwinkel wieder aus einem Tropfenbild entnommen. Die im Diagramm rote Kurve stellt die extrahierte Kontur des Tropfens als Referenz da, während die Blaue Kurve die berechnete Kontur des Tropfens darstellt. Hierfür werden das Gleichungssystem der Young-Laplace-Gleichung für die x - und z -Koordinaten der Kurve gelöst. Die Diskrepanz zwischen den beiden Kurven lässt sich auf die Bildverarbeitung zurückschließen, welche bei der Binarisierung des Bildes helle Randregionen des Tropfens fälschlicherweise dem Hintergrund zugeordnet hat.

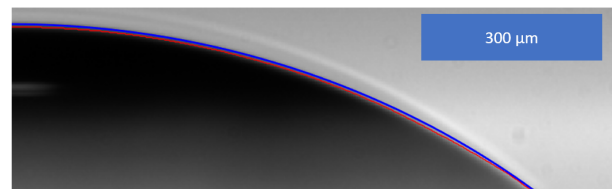


Abbildung 4 Vergleich der extrahierten Tropfenkontur mit der nachmodellierten Kontur.

5 Ausblick

Der nächste Schritt ist eine leichte Modifizierung des Modellierungsansatzes, um die Berechnung der Tropfenkontur unabhängig von Bildaufnahmen zu gestalten. Daraufhin ist die Modellierung des elektrischen Feldes abhängig von der Anodengeometrie notwendig, um das daraus resultierende Kraftfeld zu berechnen. Es ist geplant diese beiden Modelle zusammenzuführen, so dass die Deformation der Tropfen je nach wirkendem Kraftfeld berechenbar ist. Im finalen geplanten Schritt soll dann von der gewünschten Topologie auf das zur Realisierung notwendige elektrische Feld zurückgeschlossen werden können.

Literatur

- [1] O.I.del Rio, A.W. Neumann, Axisymmetric Drop Shape Analysis: Computational Methods for the Measurement of Interfacial Properties from the Shape and Dimensions of Pendant and Sessile Drops, Journal of Colloid and Interface Science, Volume 196, Issue 2, 1997, Pages 136-147, ISSN 0021-9797.