

Charakterisierung und erste Anwendung eines MEMS-basierten adaptiven Zylinderspiegels

U. Kallmann*, M. Lootze**, U. Mescheder**,**

*Fakultät für Wirtschaftsingenieurwesen, Hochschule Furtwangen

**Institut für Mikrosystemtechnik, Hochschule Furtwangen

***Technische Fakultät, Universität Freiburg

<mailto:ulrich.kallmann@hs-furtwangen.de>

In diesem Beitrag wird ein adaptiver Silizium-Membranspiegel vorgestellt. Der zylindrisch verformbare Spiegel besitzt eine rechteckige Apertur von $8 \times 2 \text{ mm}^2$ bei einer frei einstellbaren Brechkraftvariation von 0.3 bis 6.1 dpt. Als erste Einsatzmöglichkeit des Spiegels wird ein System zur adaptiven Winkelvariation eines Linienlasers gezeigt.

1 Motivation

Linienlasersysteme werden in verschiedensten Anwendungen eingesetzt, u.a. in triangulierenden Systemen zur 3D-Vermessung [1] oder in Projektionsanwendungen im Baugewerbe [2]. Dabei treffen in der Anwendung häufig zwei gegenläufige Anforderungen aufeinander.

Der durch die Laserlinie aufgespannte Winkelbereich soll möglichst groß sein, um ein weites Umfeld zu erfassen. Diese Anforderung führt aber bei begrenzter Laserleistung zu einer Verringerung der durch die Laserlinie erzeugten Bestrahlungsstärke. Aus einer geringeren Bestrahlungsstärke kann schließlich eine Verschlechterung der Messqualität oder Robustheit des Systems folgen.

Diese Problematik lässt sich durch ein adaptives optisches Element lösen, das eine ausreichend große Variation der Brechkraft in einer Richtung ermöglicht, während die dazu senkrechte Richtung keine Veränderung erfährt (Abb. 1). Damit kann je nach Anwendungssituation ein weiter Umgebungsbereich oder ein kleiner Winkelbereich mit hoher Bestrahlungsstärke ausgeleuchtet werden.

In diesem Beitrag wird ein adaptiver mikroelektromechanischer (MEMS) Zylinderspiegel vorgestellt, der diese Anforderungen für eine adaptive Laserlinienerzeugung erfolgreich erfüllt.

2 Design des MEMS Zylinderspiegels

Der adaptive MEMS Zylinderspiegel wird durch eine Siliziummembran erzeugt, die über eine definierte Aufhängungsstruktur oberhalb einer Gegenelektrode platziert wird. Die optisch aktive Fläche der Membran besitzt eine Größe von $8 \times 2 \text{ mm}^2$. Das Zusammenspiel aus Aufhängungsstruktur, Form und Abstand der Gegenelektroden bewirken bei Anlegen einer Spannung zwischen Membran und Gegenelektrode eine definierte parabolische Verformung entlang der langen Spiegelachse. Der Aufbau und das Funktionsprinzip sind schematisch in Abb.2

dargestellt. Zur Herstellung des Spiegels wurden etablierte Halbleiterprozesse verwendet [3; 4].

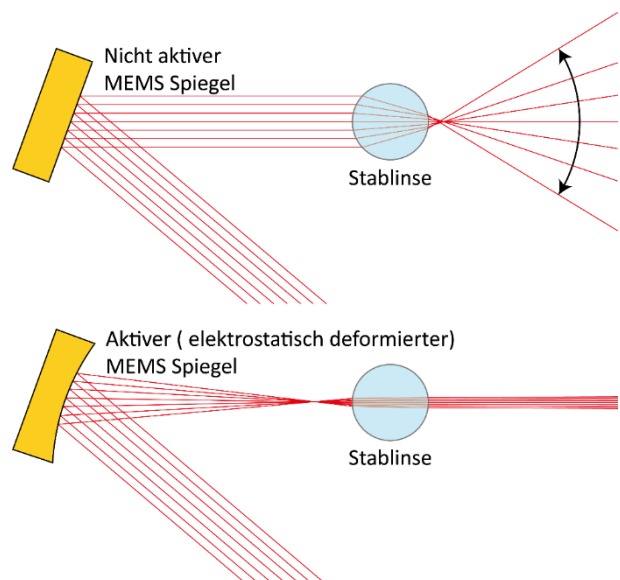


Abb. 1 Variation des Winkelbereiches eines Linienlasers mit Hilfe eines adaptiven MEMS Zylinderspiegels. Oben: Maximaler Winkelbereich. Unten: Verringerter Winkelbereich durch veränderte Ausleuchtung der Linien-erzeugenden Stablinse.

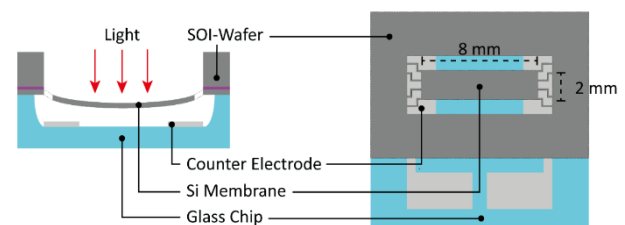


Abb. 2 Funktionsprinzip im Querschnitt (links) und Aufbau des Zylinderspiegels in Aufsicht (rechts).

3 Charakterisierung des MEMS Zylinderspiegels

Die Verformung des MEMS Zylinderspiegels wurden zunächst mit Hilfe eines Weißlichtinterferometers charakterisiert. Abb. 3 zeigt beispielhaft die

Verformung der Membranoberfläche bei einer Membranspannung von 219 V.

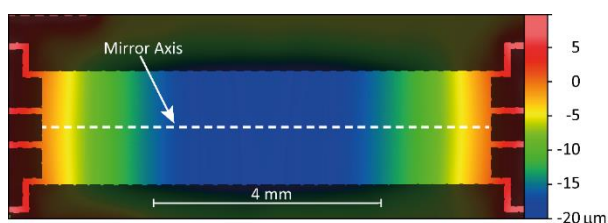


Abb. 3 Weißlichtinterferometrische 3D Abbildung der Membranfläche bei einer Membranspannung von 219 V

Entsprechende Messungen wurden für den Spannungsbereich von 0 V bis 243 V durchgeführt und die jeweilige parabolische Verformung mit Hilfe eines Fits an einen parabolischen Zylinder bestimmt. Aus den Fit-Radien lassen sich schließlich die resultierenden Brennweiten bzw. Brechkräfte des Zylinderspiegels entlang der Spiegelachse berechnen. Der ermittelte Variationsbereich erstreckt sich von $f = 3102$ mm (0.32 dpt) bei spannungsloser Membran bis zu $f = 164$ mm (6.1 dpt) bei 243 V Membranspannung [3].

4 Anwendung in Linienlasersystem

Als erste Anwendung des adaptiven MEMS-Zylinderspiegels wurde ein Linienlasersystem im Labor realisiert, das das in Abb. 1 gezeigte Konzept nutzt. Als Laserlichtquelle wird dabei eine konventionelle Laserdiode (Thorlabs L635P5) verwendet, deren Strahl kollimiert und anschließend auf den Zylinderspiegel gerichtet wird. Die lange Halbachse des elliptischen Strahlprofils wird parallel zur langen Spiegelachse ausgerichtet. Als Stablinse zur Linien-erzeugung dient eine N-BK7 Stablinse mit einem Durchmesser von 5 mm.

Die Vermessung der erzeugten Laserlinien erfolgte über ein in einer Entfernung von 250 mm positioniertes, lateral verschiebbares optisches Powermeter (Abb. 4).

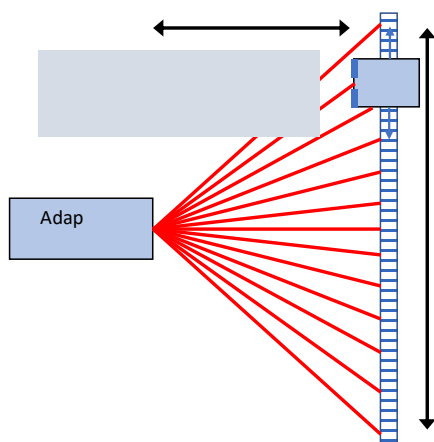


Abb. 4 Setup zur Vermessung der Laserlinie.

Beispielhaft für die Ergebnisse werden in Abb. 5 die gemessenen Laserlinienverläufe für die Membranspannungen 144 V, 169 V und 176 V gezeigt.

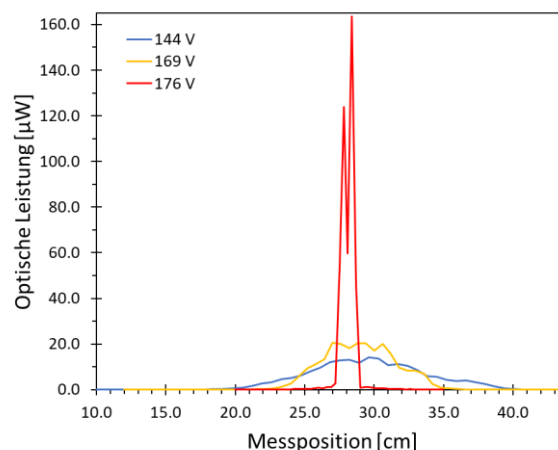


Abb. 5 Gemessene Laserlinienverläufe mit dem in Abb. 4 gezeigten Setup.

Für die Membranspannung von 144 V ($f = 477$ mm) ist bereits eine leichte Einengung des Winkelbereichs der Laserlinie gegenüber dem spannungslosen Fall (nicht dargestellt) messbar. Für die Membranspannung von 176 V ($f = 289$ mm) wird die größte Einengung des Winkelbereichs erzielt. Hier ist auch die damit verbundene Leistungserhöhung im eingeschränkten Winkelbereich sehr gut sichtbar.

5 Zusammenfassung und Ausblick

Mit Hilfe einer neuen adaptiven optischen Komponente, einem MEMS-basierten Zylinderspiegels, konnte ein Linienlasersystem realisiert werden, dessen Winkelbereich und Bestrahlungsstärke anwendungsspezifisch variiert werden kann.

Neben der Exploration weiterer Anwendungsmöglichkeiten dieses Zylinderspiegels stehen Optimierungen des Spiegels hinsichtlich verfügbarer Apertur und Oberflächenreflektivität im Fokus zukünftiger Entwicklungen.

Literatur

- [1] S. Winkelbach, S. Molkenstruck, F. M. Wahl, Low-Cost Laser Range Scanner and Fast Surface Registration Approach, in: K. Frank, K.-R. Müller, B. Nickolay, R. Schäfer (Hrsg.), Pattern recognition. Springer, Berlin 2006, S. 718–728
- [2] www.boschtools.com/us/en/boschtools-ocs/line-lasers-41060-c/ (29.10.2021)
- [3] U. Kallmann, M. Lootze, U. Mescheder, Simulative and Experimental Characterization of an Adaptive Astigmatic Membrane Mirror. Micromachines (Basel) **12** (2) (2021)
- [4] W. Kronast, U. Mescheder, B. Müller, R. Huster, Development of a focusing micromirror device with an in-plane stress relief structure in silicon-on-insulator technology. J. Micro/Nanolith. MEMS MOEMS **13** (1), S. 11112 (2014)