

Mikrooptiken zur Verbesserung eines optischen Abstandssensors und Mikrofons

T. Fricke-Begemann, J. Ihlemann, R. Weichenhain

Laser-Laboratorium Göttingen e.V., Göttingen

[mailto: tfb@llg.gwdg.de](mailto:tfb@llg.gwdg.de)

Der Einsatz von fokussierenden optischen Elementen kann die Empfindlichkeit von Glasfaser-basierten optischen Abstandssensoren erheblich steigern. Für die Ausführung eines solchen Sensors als optisches Mikrofon werden verschiedene mikrooptische Komponenten vorgestellt und die erreichten Leistungssteigerungen verglichen.

1 Einführung

Optische Abstandssensoren, die auf der Basis der Messung von Lichtintensitätsmodulation arbeiten, können unter Einsatz von (Multimode-)Glasfasern und einer verspiegelten Membran als optisches Mikrofon ausgeführt werden [1]. Hier führt die Membranschwingung zu einer Modulation der Amplitude des übergekoppelten Lichts (Abb. 1). Die Anwendung eines solchen Sensorkopfes findet sich wegen seines metallfreien und stromlosen Aufbaus in Messtechnik, Medizintechnik und Anlagenüberwachung [2].

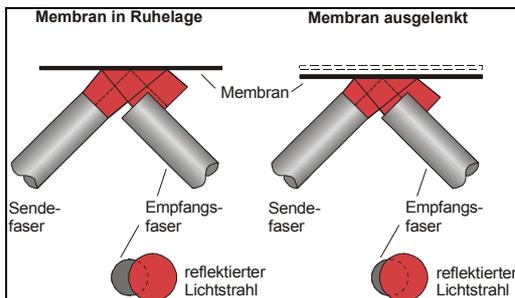


Abb. 1 Funktionsprinzip der faseroptischen Membranabtastung.

Durch die im allgemeinen geringe Schwingungsamplitude der Membran ist die Mikrofonempfindlichkeit begrenzt. Eine Verbesserung ist durch Fokussierung und Lenkung der Strahlung mittels mikrooptischer Komponenten möglich (Abb. 2).

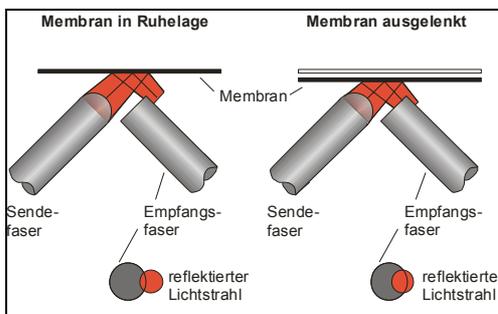


Abb. 2 Einsatz von fokussierenden Elementen im Faserkopf

2 Empfindlichkeit des Sensors

Die Empfindlichkeit dieser Sensoren wird unter anderem durch die Anordnung von Sende- und Empfangsfaser zur reflektierenden Oberfläche (Abb. 3), die Faserquerschnitte, die optischen Eigenschaften der Fasern und der reflektierenden Fläche und die Strahlungsintensität bestimmt.

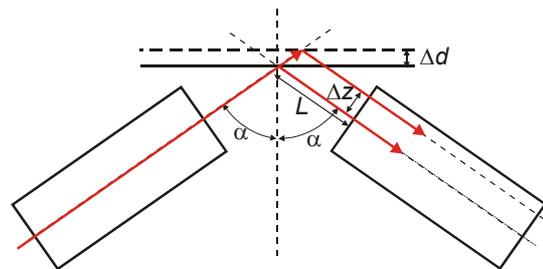


Abb. 3 Geometrie der faseroptischen Membranabtastung.

Der Einfluss des Winkels und der Distanz zwischen den Fasern auf die Kopplungskennlinie, die die empfangene Strahlung in Abhängigkeit von der Position der reflektierenden Fläche darstellt, ist in Abb. 4 zu erkennen.

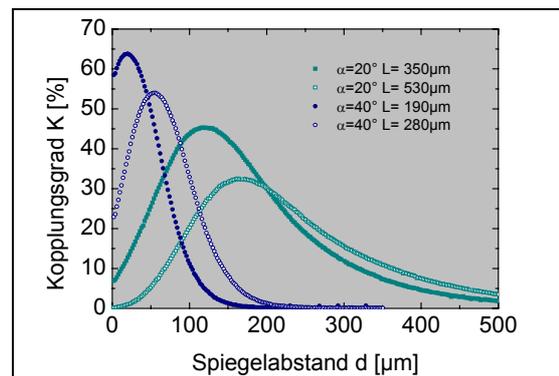


Abb. 4 Kopplungskennlinien für Anordnungen ohne fokussierende Elemente.

Je flacher der Winkel zwischen Spiegel und Wellenleiter ist, desto steiler ist die Kopplungskennlinie. Die Steilheit dieser Kurve und die eingestrahelte Lichtmenge bestimmen u.a. die Empfindlichkeit des Sensors in Form des Gütefaktors G [3]:

$$G = \frac{S}{\sqrt{K}} \quad (1)$$

(S: Steilheit der Kopplungskurve im Arbeitspunkt; K: Kopplungsgrad).

3 Fokussierende Mikrooptiken

Zur Verbesserung der Kopplungseffizienz können miniaturisierte Linsen, wie z.B. Kugellinsen verwendet oder direkt auf Faserenden integrierte Linsen eingesetzt werden. Für eine erwünschte Miniaturisierung des Sensorkopfes ist eine möglichst Platz sparende Anordnung nötig.

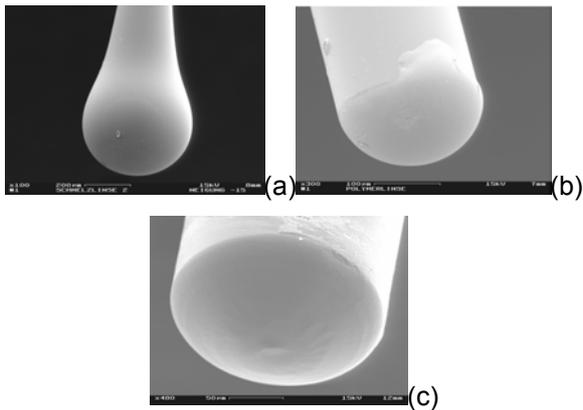


Abb. 5 Optische Komponenten zur Fokussierung von Multimodefaserlicht (a) Schmelzlinse (Faserende aufgeschmolzen), (b) aufgetropfte und ausgehärtete Polymerlinse, (c) mittels F_2 -Laserablation am Ende der Glasfaser hergestellte Linse [4].

Abb. 5 zeigt rasterelektronenmikroskopische Aufnahmen einiger getesteter Varianten. Die durch diese Anordnungen erzeugte Propagation der Strahlquerschnitte ($1/e^2$) im freien Raum ist in Abb. 6 dargestellt. Schmelz- und insbesondere Polymerlinsen und integrierte Linsen ermöglichen einen kompakten Aufbau.

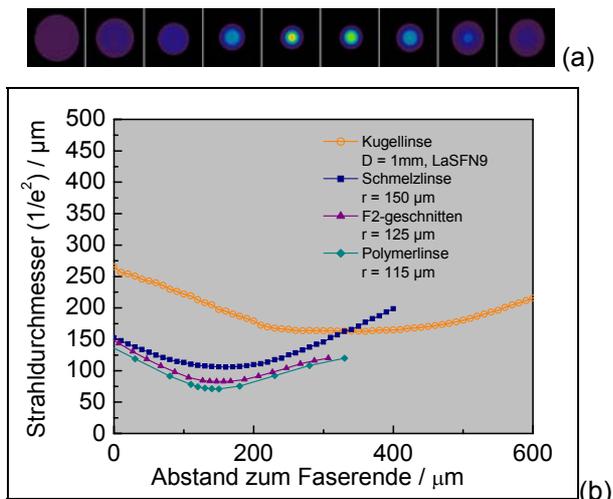


Abb. 6 Strahlverlauf (a) hinter einer Polymerlinse in Falschfarbendarstellung ($50\mu\text{m}$ -Schritte), (b) aufgetragen über den Abstand zum Faserende

4 Sensoroptimierung

Mittels Ray-Tracing und experimenteller Parameterstudien wurden für die eingesetzten Optiken die Anordnungen hinsichtlich maximaler Gütefaktoren optimiert. Eine vergleichende Darstellung normierter Kopplungskurven ist in Abb. 7 dargestellt. Polymerlinsen führen zu einer deutlichen Zunahme der Kopplungsteilheit und verbessern den Signal-Rauschabstand um bis zu 8 dB gegenüber der Ausführung ohne Zusatzoptik.

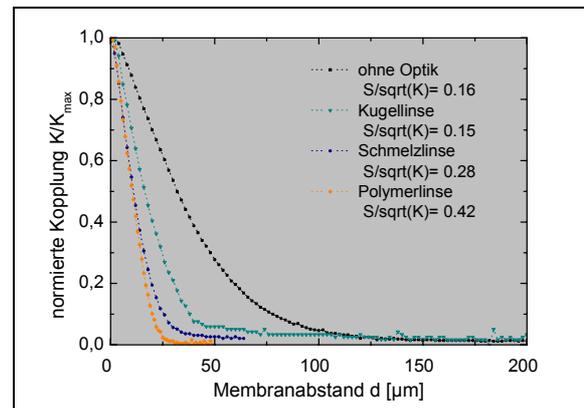


Abb. 7 Normierte Kopplungskennlinien diverser optimierter Faserkopfgeometrien.

5 Zusammenfassung

Durch Verwendung von Mikrooptiken lässt sich die Abstrahlung von Multimode-Glasfasern an spezifische Aufgabenstellungen anpassen. Für ein kompaktes optisches Mikrofon sind auf Fasern aufgebraute Polymerlinsen oder laserbearbeitete Faserenden gut geeignet. Der Signal-Rauschabstand von Systemen mit fokussierenden Optiken verbessert sich gegenüber den ohne Optiken optimierten Anordnungen deutlich.

6 Danksagung

Die Arbeiten wurden in Kooperation mit *Sennheiser electronic*, *IMT Braunschweig*, *GZV Braunschweig* und *IOF Jena* durchgeführt und durch die Landesinitiative Mikrosystemtechnik Niedersachsen gefördert.

Literatur

- [1] R. Herber, Faseroptische Sensoren für Luftschallanwendungen, Fortschritt-Berichte VDI, Reihe 10, Nr. 125 (1990).
- [2] W. Niehoff, V. Gorelik, M. Hibbing, Das optische Mikrofon, rfe 4/1999, S. 24.
- [3] D. Garthe, Faser- und integriert-optische Mikrofone auf der Basis intensitätsmodulierender Membranabstufung, Fortschritt-Berichte VDI, Reihe 10, Nr. 214 (1992).
- [4] J. Li, P.R. Herman, M. Wei, K.P. Chen, J. Ihlemann, G. Marowsky, P. Oesterlin, B. Burghardt: Proc. SPIE Vol. 4637A, 228 (2002).