

Hohlkern-Mikrostrukturierte Fasern: Herstellung und sensorische Anwendungen

J. Kobelke, J. Bierlich, K. Schuster, T. Frosch, A. Hartung, H. Lehmann, H. Bartelt,
M. S. Ferreira*, O. Frazao*

Institut für Photonische Technologien e.V., Albert-Einstein-Str. 9, 07745 Jena, Deutschland

*INESC Porto, Rua do Campo Alegre, 4169-007 Porto, Portugal

mailto: jens.kobelke@ipht-jena.de

Mikrostrukturierte optische Fasern mit Hohlkerndesign sind sowohl für die chemische Analytik von Gasen und Flüssigkeiten, aber auch zum Aufbau faseroptischer Druck- oder Temperatursensoren interessant. Die Herstellung der Fasern erfolgt über das Stack-and-Draw-Verfahren aus kapillargepackten Preformen. Ausgangsmaterialien der Preformkomponenten sind reines und dotiertes Quarzglas. Durch Steuerung der Druckbedingungen werden Stegweiten und Luftfüllfaktoren gezielt variiert und optische Parameter, wie die numerische Apertur, eingestellt.

1 Einleitung

Hohlkern-Mikrostrukturierte optische Fasern (HMOFs) eignen sich zum Aufbau multifunktionaler optischer Sensoren für die Chemo-, Bio-, Druck- und Temperatursensorik. Analytgefüllte Hohlkernfasern erlauben eine direkte Absorptionsmessung durch indexgeführte Lichtpropagation, wenn die effektive Brechzahl des Fasermantels (Air-Clad) unterhalb der des Faserkerns liegt. Für wässrige Analyten ist jedoch eine enorme Absenkung der effektiven Mantelbrechzahl gegenüber dem Fasermaterial Quarzglas notwendig. Nach Modellbetrachtungen sind an die Faserdesign-Parameter extreme Anforderungen zu stellen. Wir betrachten die Einflüsse der Stegbreiten von der Air-Clad-Struktur und vom Hohlkernring. Zur Herstellung der HMOFs wurde eine spezielle Zieh-technologie entwickelt, die hier vorgestellt wird. Die HMOFs wurden zum Aufbau eines faseroptischen Gasdrucksensors genutzt. Durch Verspleißen mit einer Standard-Singlemodefaser bildet der Hohlkern eine Fabry-Perot-Cavity. Die spektroskopische Auswertung von Längenänderungen ermöglicht den Aufbau faseroptischer Dehnungs- und Drucksensoren.

2 Faserherstellung

Die Herstellung der mikrostrukturierten Glasfasern erfolgt durch Versintern und definiertes Aufblasen von Kapillarpackungen in einem Mantelrohr. Um eine möglichst effiziente Absenkung der effektiven Brechzahl im Mantel um den Hohlkern zu erzielen, wird dieser als Air-Clad ausgebildet. Zu diesem Zweck werden sehr dünnwandige Glaskapillaren um das ebenfalls möglichst dünnwandige Zentralrohr (Hohlkern) angeordnet. Typische Wandstärken der Ausgangskapillaren liegen bei 50 μm , bei

einem Außendurchmesser von 1 mm. Durch definierte Druckbeaufschlagung der Kapillarrinnenvolumina beim Faserziehen, wird das Verhältnis zwischen Wandstärke und Querschnittsfläche der Kapillaren zusätzlich abgesenkt. In der finalen Faser werden Stegbreiten um 0,6 μm erreicht, die bei Gasfüllung (z. B. Luft, Methan, Kohlendioxid) mit einer numerischen Apertur von 0,55 gegenüber dem Quarzglas des Hohlkernringes korrespondieren [1].

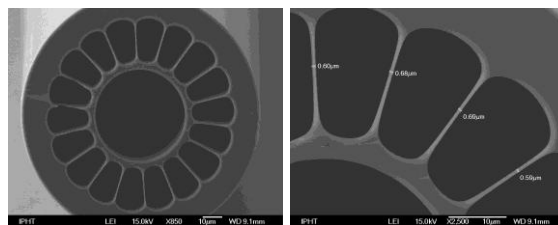


Abb. 1 SEM-Aufnahmen zum Faserquerschnitt einer Hohlkernfaser mit Air-Clad.

3 Fabry-Perot basierter Dehnungssensor

Die HMOF wurde zum Aufbau eines Dehnungssensors, basierend auf einer Fabry-Perot-Cavity, eingesetzt [2]. Abbildung 2 zeigt den Aufbau.

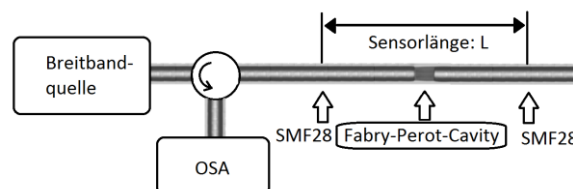


Abb. 2 Experimenteller Aufbau des HMOF-Dehnungssensors mit einer Fabry-Perot-Cavity.

Die HMOF, mit einem Hohlkerndurchmesser von 44,4 μm und einer Ringstegbreite von 3,1 μm , wurde beidseitig mit einer Standard-Singlemodefaser (SMF 28) verspleißt. Die

eingespleißte Fabry-Perot-Cavity war für einen ersten Demonstrator 207 μm lang. Weitere Sensoren wurden mit Cavity-Längen von 35 μm und 13 μm hergestellt und untersucht. Die Fasern wurden mit einer Breitbandquelle zwischen 1570 nm und 1620 nm beleuchtet. Das Signal wurde reflektiv mit einem optischen Spektrenanalysator (OSA ANDO AQ-6315B; Auflösung: 0,5 nm) nach Passieren eines optischen Zirkulators ausgewertet (Abb. 2).

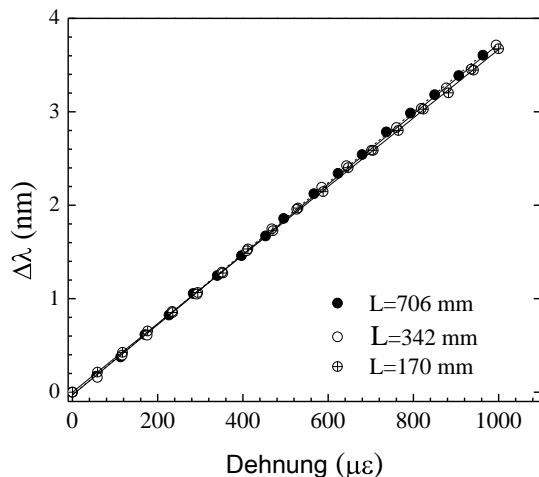


Abb. 3 Wellenlängenverschiebung in Abhängigkeit von der Dehnung für verschiedene Sensorlängen L .

Abbildung 3 zeigt die Signalwellenlängenverschiebung in Abhängigkeit von der Dehnung. Die Messung erfolgte an Sensorlängen von 706 mm, 342 mm und 170 mm. Die ermittelten Sensitivitäten für diese Sensorlängen betragen $d\lambda/d\epsilon$: 3,79 pm/ $\mu\epsilon$; 3,75 pm/ $\mu\epsilon$ sowie 3,67 pm/ $\mu\epsilon$ und korrespondieren mit den Erwartungswerten aus den Elastizitätsparametern der Quarzglasfaser. Eine Möglichkeit zur Steigerung der Sensitivität besteht in der Verkürzung der Cavity-Länge. Hierzu wurden Systeme mit Cavity-Längen von 35 μm und 13 μm untersucht. Wie Abbildung 4 zeigt, wird eine vierfach höhere Sensitivität (15,4 pm/ $\mu\epsilon$) erreicht, wenn die Cavity-Länge von 207 μm auf 13 μm verkürzt wird.

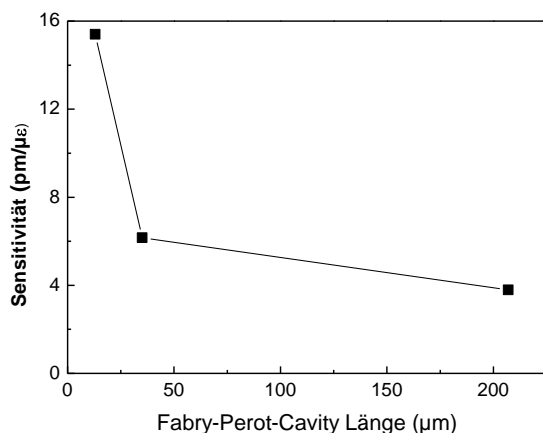


Abb. 4 Einfluss der Cavity-Länge auf die Sensitivität.

Der Dehnungssensor weist eine Temperaturempfindlichkeit von $d\lambda/dT=0,81$ pm/K im Temperaturbereich von 25 °C bis 85 °C auf. Zur Kompensation dieses Effektes kann ein Sensoraufbau mit zwei unterschiedlichen Cavity-Längen genutzt werden [3].

Danksagung

Die Arbeiten werden gefördert durch das Thüringer Ministerium für Wirtschaft, Technologie und Arbeit aus Mitteln des Europäischen Sozialfonds (ESF) (FKZ: 2012 FGR 0013).

Referenzen

- [1] J. Kobelke, K. Schuster, A. Schwuchow, D. Litzkendorf, R. Spittel, J. Kirchhof, H. Bartelt, „Fabrication and Characterization of Special Microstructured Fibers”, Proc. SPIE 8001-8 (2011).
- [2] Marta S. Ferreira, Jörg Bierlich, Jens Kobelke, Kay Schuster, José L. Santos, and Orlando Frazão, "Towards the control of highly sensitive Fabry-Pérot strain sensor based on hollow-core ring photonic crystal fiber," Opt. Express 20, 21946-21952 (2012). <http://www.opticsinfobase.org/oe/abstract.cfm?URI=oe-20-20-21946>
- [3] Y.-J. Rao, M. Deng, D.-W. Duan, T. Zhu, "In-line fiber Fabry-Perot refractive-index tip sensor based on endlessly photonic crystal fiber," Sensor. Actuat. A-Phys. 148, 33–38 (2008).