

Strukturierte Gitterkoppler auf den Endflächen von Lichtleitfasern für Anwendungen zur spektralen Filterung und Sensorik

Uta Jauernig*, Siegmund Schröter*, Sven Brückner*, Miroslav Vlcek**, Hartmut Bartelt*

*Institut für Photonische Technologien, Jena

**Universität Pardubice, Tschechische Republik

<mailto:Uta.Jauernig@ipht-jena.de>

Es werden die Transmissionseigenschaften von Subwellenlängengittern mit hohem Brechungsindexkontrast untersucht, die mittels DUV-Interferenzlithografie in auf die Stirnflächen von Lichtleitfasern aufgebracht Schichten aus Chalkogenidglas ($\text{As}_{35}\text{S}_{65}$) erzeugt werden.

1 Einleitung

Die Strukturierung von Wellenleitergittern auf der Stirnfläche von Lichtleitfasern (LLF) ermöglicht die Realisierung von kompakten Spektral- und Polarisationsfiltern sowie von flexiblen Bauelementen für sensorische Anwendungen [1-3]. Zum Einsatz kommen hier Schichten aus hochbrechendem Chalkogenidglas ($\text{As}_{35}\text{S}_{65}$), bei denen durch eine interferenzlithografische Bestrahlung mit wenigen Belichtungspulsen eines UV-Lasers eine direkte Oberflächenstrukturierung erreicht wird [4].

2 Funktionsprinzip

Das Funktionsprinzip ist in Abb. 1 skizziert. Über die LLF wird die Strahlung rückwärtig auf die strukturierte Schicht geführt. Bei Einstrahlung von weißem Licht erfolgt eine wellenlängenselektive und polarisationsabhängige Filterung der einfallenden Strahlung. Wird eine Mode des Schichtwellenleiters angeregt, so resultiert eine resonante Verringerung der Transmission. Diese wird polarisationsabhängig ermittelt.

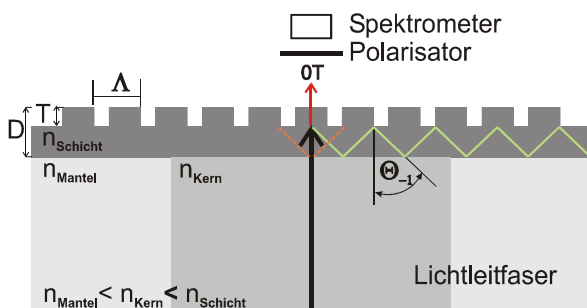


Abb. 1 Gitterkoppler auf der Endfläche einer LLF

3 Strukturierungstechnologie

Die DUV-Interferenzbelichtung erfolgt mit einem Excimer-Laser bei einer Wellenlänge von 248nm und einer Pulslänge von 20ns. Der Aufbau ist in Abb. 2 gezeigt. Für die Anwendung im sichtbaren und NIR-Spektralbereich sind Gitter mit Perioden Λ zwischen 300nm und 400nm bei Gittertiefen T von 30nm bis 100nm besonders geeignet.

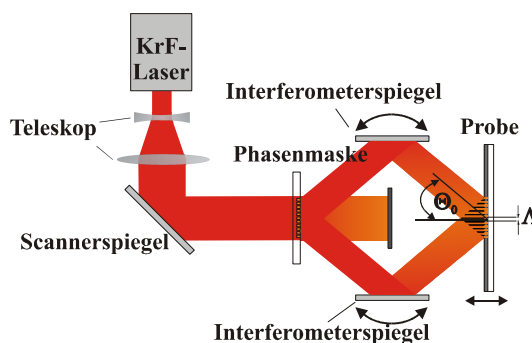


Abb. 2 Interferometeraufbau für DUV-Interferenzlithografie

Die Strukturierung erfolgt in amorphen $\text{As}_{35}\text{S}_{65}$ -Schichten, die mit Dicken D zwischen 250nm und 1000nm auf die Stirnflächen von LLF aufgedampft werden. Im betrachteten Spektralbereich liegt die Brechzahl n dieses Glases zwischen 2,5 und 3. Es absorbiert für Wellenlängen kleiner 450nm stark und ist ab 600nm nahezu verlustfrei.

4 Exemplarische Berechnung von Transmissionsspektren

In Abb. 3 ist ein mittels „rigorous coupled wave analysis“ [5] berechnetes Transmissionsspektrum für ein binäres Gitter (Periode $\Lambda=400\text{nm}$, Tastverhältnis 1:1, Schichtdicke $D=375\text{nm}$, Gittertiefe $T=100\text{nm}$) für senkrechten Einfall in Abhängigkeit von der Polarisation der einfallenden Strahlung dargestellt. Zu erkennen ist das Auftreten einer polarisationsunabhängigen Resonanzstelle minimaler Transmission bei $\lambda_{\text{min}}=589\text{nm}$ mit einer Halbwertsbreite von 20nm, sowie weiterer polarisationsabhängiger Resonanzstellen. Die kleinste Halbwertsbreite beträgt dabei 15nm bei $\lambda_{\text{min}}=687\text{nm}$ für TM-Polarisation. Variiert man die Gittertiefe D , so erfolgt mit steigender Gittertiefe eine Verschiebung der Resonanzstellen mit $\Delta\lambda_{\text{min}}/\Delta D \approx 0,4-0,8$ zu kürzeren Wellenlängen mit einer zunehmenden Verbreiterung der Resonanzkurve. Zu berücksichtigen ist auch die Divergenz der aus der LLF austretenden Strahlung.

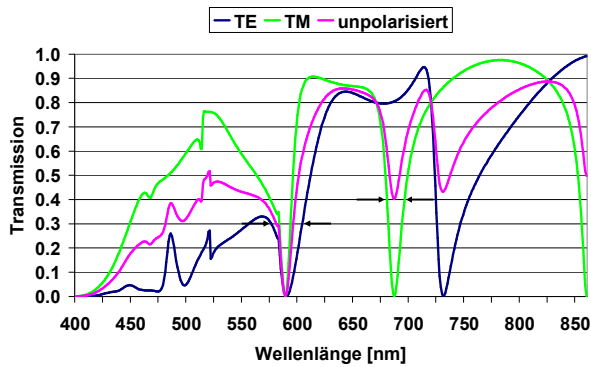


Abb. 3 Abhängigkeit des Transmissionsspektrums für ein binäres Gitter von der Polarisation

Für die eingesetzte Faser mit einer numerischen Apertur von 0,08 beträgt der maximale Einfallswinkel der Strahlung auf das Gitter 5° . Entsprechende Simulationen zeigen, dass mit steigendem Einfallswinkel eine Verschiebung der Resonanzstellen zu kürzeren Wellenlängen für TE-Polarisation und zu längeren Wellenlängen für TM-Polarisation auftritt, siehe Abb. 4. Gleichzeitig kommt es zu einer Verringerung der Halbwertsbreite um 0,5 bis 1 nm pro Grad.

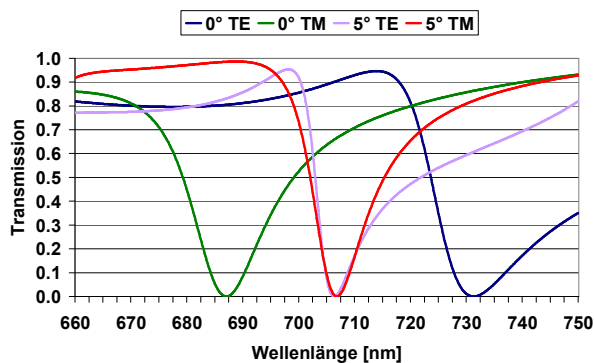


Abb. 4 Abhängigkeit des Transmissionsspektrums vom Einfallswinkel bei Gittertiefe 100nm

5 Experimentelle Untersuchung

Die Belichtung einer Chalkogenidglasschicht der Dicke $D=375\text{nm}$ erfolgte mit 3 Pulsen bei einer Pulsenergieichte von $22,5\text{mJ}/\text{cm}^2$ auf einer LLF mit dem Kerndurchmesser $15\mu\text{m}$. Abb. 5 zeigt REM-Aufnahmen des Gitters. Es wurde über die gesamte Faserstirnfläche eine homogene Gitterstruktur der Tiefe $T=100\text{nm}$ erzeugt.

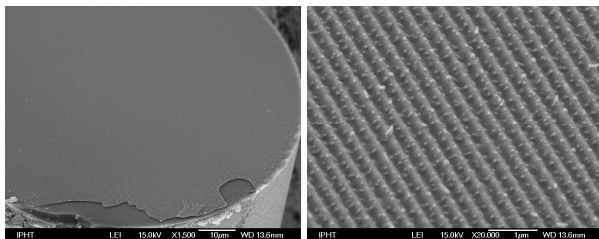


Abb. 5 REM-Aufnahmen eines Chalkogenidglasgitters auf LLF mit Kerndurchmesser $15\mu\text{m}$

Bei Einstrahlung von weißem Licht zeigt diese Faser das in Abb. 6 dargestellte Transmissionsverhalten. Zu erkennen ist eine wellenlängenselektive und polarisationsabhängige Variation der Transmission. Für $\lambda_{\text{min}}=617\text{nm}$ tritt eine polarisationsunabhängige Verringerung der Transmission auf kleiner als 15% bei einer Halbwertsbreite von 25nm auf. Qualitativ entspricht damit der Verlauf den Modellierungsergebnissen in Abb. 3, allerdings zeigen sich auch struktur- und technologiebedingte Abweichungen.

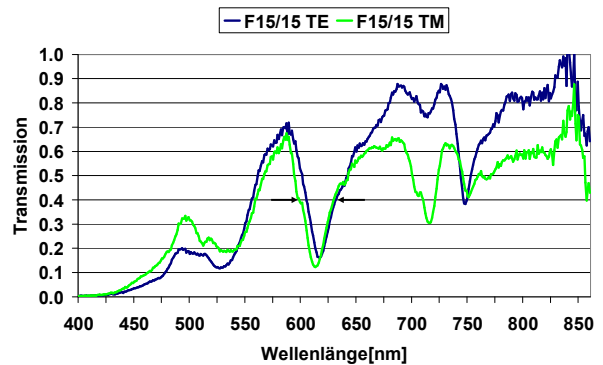


Abb. 6 Transmissionsspektrum eines Chalkogenidglasgitters auf LLF mit Kerndurchmesser $15\mu\text{m}$

6 Zusammenfassung

Es wurde eine Technologie zur Herstellung resonanter Gitterkoppler auf Faserstirnflächen entwickelt. Das Transmissionsverhalten der erzeugten Gitter entspricht qualitativ den Werten der theoretischen Betrachtungen. Der quantitative Einfluss der speziellen Betriebsbedingungen für Gitterkoppler auf der Stirnfläche von Lichtleitfasern bezüglich Divergenz und Polarisation der einfallenden Strahlung auf deren Transmissionsverhalten erfordert jedoch noch weitere Untersuchungen.

Literatur

- [1] S. S. Wang and R. Magnusson, „Design of waveguide-grating filters with symmetrical line shapes and low sidebands“, *Opt. Lett.* 19, 919-921 (1994)
- [2] K. Tiefenthaler and W. Lukosz, „Sensitivity of grating couplers as integrated-optical chemical sensors“, *J. Opt. Soc. Am. B* 6, 209-220 (1989)
- [3] Y. Fang, A. M. Ferrie, N. H. Fontaine, J. Balakrishnan, „Resonant waveguide grating biosensor for living cell sensing“, *Biophys. J.* 91, 1925-1940 (2006)
- [4] M. Vlcek, S. Schroeter, S. Brueckner, S. Fehling A. Fiserova, „Direct fabrication of surface relief gratings in chalcogenide glasses by excimer laser interference lithography“, *J. Mater. Sci. Mater. Electron.* 20, 290-293 (2009)
- [5] M. G. Moharam, D. A. Pommet, E. B. Grann, „Stable implementation of the rigorous coupled-wave analysis: enhanced transmittance matrix approach“, *J. Opt. Soc. Am. A* 19, 1068-1076 (1995)