

Erzeugung von Faser-Bragg-Gittern (FBGs) in Saphirfasern für die Hochtemperatursensorik

Tino Elsmann, Eric Lindner, Martin Becker, Wolfgang Ecke, Manfred Rothhardt, Hartmut Bartelt

*Institut für photonische Technologien, Jena

<mailto:tino.elsmann@ipht-jena.de>

Bragg-Gitter in Saphirfasern ermöglichen sensorische Anwendungen, wie Temperatur- und Dehnungsmessung, in extrem hohen Temperaturbereichen, in denen Standardfasern nicht mehr verwendet werden können. Das Einschreiben der Bragg-Gitter in Saphirmaterial ohne klassische UV-Photosensitivität wurde mit Femtosekunden-Laserpulsen erreicht.

1 Einführung

Faser-Bragg-Gitter bieten eine Vielzahl von sensorischen Anwendungsmöglichkeiten, insbesondere zur Dehnungs- oder Temperaturmessung. Konventionelle FBGs in Quarzglas sind jedoch nur in Temperaturbereichen bis ca. 350°C stabil. Dieser Temperaturbereich kann durch die Verwendung von regenerierten Bragg-Gittern mit und ohne vorherige Wasserstoffbeladung [1,2] bis auf 1000°C erweitert werden. Jedoch sind für Umgebungstemperaturen von deutlich mehr als 1000°C auch diese Gitter nicht mehr stabil. Dagegen eignen sich Gitter in Fasern aus Saphir prinzipiell gut, da der Schmelzpunkt von Saphir erst bei 2030°C liegt und seine optischen Eigenschaften die Verwendbarkeit als Lichtleitfaser gewährleisten. Dies wurde bereits prinzipiell demonstriert [3,4].

2 Gittereinschreiben

Da Saphir keine konventionelle UV-Photosensitivität zeigt, wurde ein Femtosekunden-Lasersystem zur Erzeugung der Bragg-Gitter verwendet. Aufgrund der kurzen Pulsdauern von weniger als 200fs sind Spitzenleistungen von mehr als 20GW und somit Multiphotonenabsorptionsprozesse möglich. Diese führen zu strukturellen Veränderungen im belichteten, einkristallinen Saphir und somit zu einer Brechzahlmodifikation.

Die Gitterstruktur wird durch die Belichtung mit einem Interferenzmuster direkt hinter einer Phasenmaske oder im Talbot-Interferometer realisiert [5].

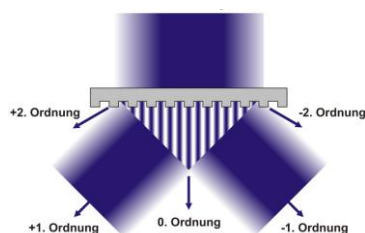


Abb. 1 Phasenmaskenanordnung zum Gittereinschreiben

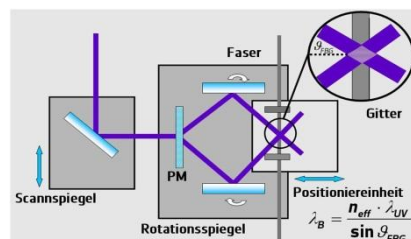


Abb. 2 Talbot-Interferometer zum Gittereinschreiben

Um die Spitzenintensität weiter zu erhöhen, wurde das Laserstrahlenbündel zusätzlich horizontal mit einer kurzbrennweitigen Zylinderlinse ($f=17\text{mm}$) fokussiert. Da der Fokusspot lediglich einen Durchmesser von $1,8\mu\text{m}$ besitzt, wurde die Linse während des Einschreibens vertikal verfahren und somit der Fokus durch die $100\mu\text{m}$ starke Saphirfaser mit einer Geschwindigkeit von $0,1\mu\text{m/s}$ gesannt.

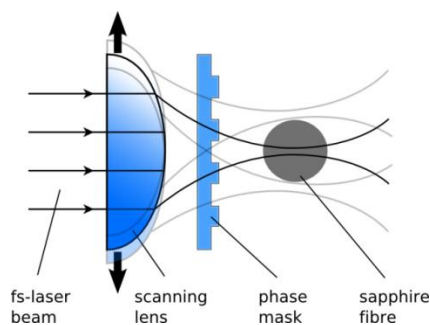


Abb. 3 Scannen der Saphirfaser Fokus.

In der bisherigen Literatur [3] findet man ausschließlich Ergebnisse, welche mit einer Einschreibwellenlänge von 800nm realisiert wurden. Aufgrund der hohen Brechzahl von Saphir ($n=1,76$) ist es so jedoch nicht möglich, Gitter erster Ordnung für eine übliche Zielwellenlänge des Braggreflexes im optischen Telekommunikations-C-Band (ca. 1550nm) zu schreiben. Deshalb verwendeten wir eine Einschreibwellenlänge von 400nm .

3 Charakterisierung

Aufgrund der hohen Brechzahl von Saphir gegen Luft und dem großen Durchmesser der Faser können sehr viele Moden in ihr propagieren. Dies erschwert die Analyse der Reflexionseigenschaften des Gitters. Eine spezielle Möglichkeit der lokalen Charakterisierung bietet die Verwendung des externen Braggreflexes (EBR). Beleuchtet man die Faser seitlich mit einem Testlaser der Wellenlänge λ , so wird das Strahlenbündel an dem Gitter für die Braggwellenlänge λ_{Bragg} in erster Ordnung in Richtung ϑ gebeugt:

$$\sin \vartheta = \frac{n_{Bragg} \lambda}{\lambda_{Bragg}} \quad (1)$$

Die Intensität des gebeugten Anteils hängt von der lokalen Ausprägung der Brechzahlmodulation und damit auch von der lokalen Bragg-Reflektivität des Gitters ab [6].

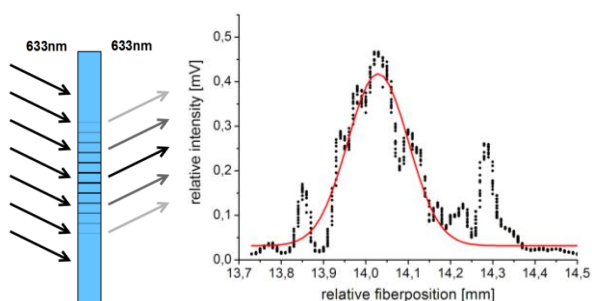


Abb. 4 Lokale Untersuchung des Gitters mittels EBR.

Durch ein Scannen entlang der Faserachse mit dem Testlaser kann der örtliche Bragg-Reflektivitätsverlauf des Gitters aufgenommen werden. Wie in Abb. 4 (rechts) erkennbar ist, folgt die Reflektivität (schwarze Messpunkte) etwa einer Gaußverteilung (rote Linie) und entspricht somit dem Laserprofil des belichtenden fs-Lasers. Die starken Reflexschwankungen, insbesondere an der relativen Position 14,3mm, sind auf Beschädigungen der Faseroberfläche beim Belichten zurück zu führen, welche bei seitlicher Beleuchtung mit dem Testlaser stark streuen.

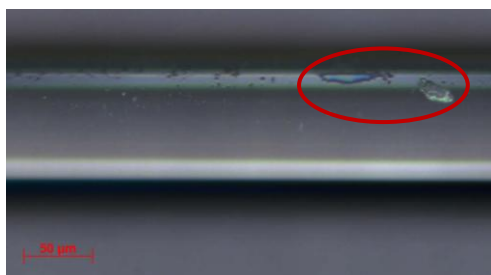


Abb. 5 Beschädigung der Faseroberfläche beim Gittereinschreiben.

Solche Beschädigungen können z.B. durch Schmutz oder Staub auf der Faser während des Einschreibeprozesses auftreten.

4 Zusammenfassung

Bragg Gitter in Saphirfasern können durch Belichtung mit fs-Impulsen eingeschrieben werden. Um für das Standard-Telekommunikations C-Band geeignete Bragg Gitter in erster Ordnung zu schreiben, ist es notwendig, kürzere UV-Wellenlängen zum Einschreiben als die bisher üblichen 800nm und hohe Pulsspitzenleistungen zu verwenden.

Für die spektrale Charakterisierung muss beachtet werden, dass eine Vielzahl an Moden in der Faser propagieren können. Zur einfacheren lokalen Untersuchung kann die externe Braggreflexion verwendet werden. Unter Berücksichtigung von eventuell streuenden Oberflächendefekten der Faser kann so das Profil der Bragg-Gitterreflektivität bestimmt werden [4].

Literatur

- [1] J. Canning, et al., „Ultrahigh-temperature regenerated gratings in boron-codoped germanosilicate optical fiber using 193 nm“ in: *Opt.Lett.* **33**(16), 1917-1919 (2008)
- [2] E. Lindner, et al., „Arrays of Regenerated Fiber Bragg Gratings in Non-Hydrogen-Loaded Photosensitive Fibers for High-Temperature Sensor Networks“ in: *Sensors* **9**(10), 8377-8381 (2009)
- [3] D. Grobncic, et al., „Sapphire Fiber Bragg Grating Sensor Made Using Femtosecond Laser Radiation for Ultrahigh Temperature Applications“ in: *Jour. Phot. Techn. Lett.* **16**(11), 2505-2507 (2004)
- [4] M. Busch, et al., „Inscription and characterization of Bragg gratings in single-crystal sapphire optical fibres for high-temperature sensor applications“ in: *Meas. Sci. Technol.* **20** (2009)
- [5] M. Becker, et al., „Generation and characterization of first order fiber Bragg gratings with Bragg wavelengths in the visible spectral range“ in: *Opt. Comm.* **281**, 4612-4615 (2008)
- [6] P. A. Krug, „Measurement of index modulation along an optical fiber Bragg grating“ in: *Opt. Lett.* **20**(17), 1767-1769 (1995)