

# Faser-Bragg-Gitter mit anormalem Temperaturverhalten

Christoph Chojetzki, Torsten Klaiberg, Stephan Grimm, Hartmut Bartelt

Institut für Physikalische Hochtechnologie e.V., Jena

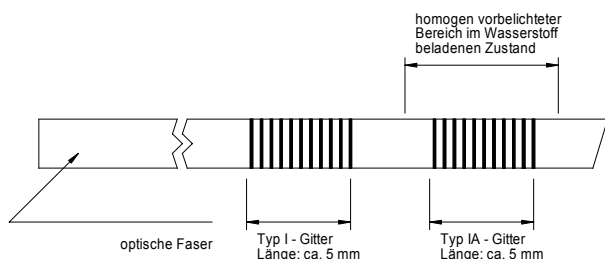
<mailto:christoph.chojetzki@ipht-jena.de>

## 1 Motivation

Sensorische Anwendungen der FBG erfordern häufig eine Temperaturreferenz, da sowohl Dehnungs- als auch Temperaturänderungen zu Wellenlängenverschiebungen des Bragg-Reflexes führen. Um die Effekte zu trennen, wird häufig eine Kombination aus 2 FBG-Sensoren gewählt, wobei ein Sensor die mechanischen und thermischen Veränderungen der zu untersuchenden Struktur misst, der andere Sensor, der von der Struktur mechanisch entkoppelt ist, misst die Temperatur. Der Temperatureinfluss und die äußeren mechanischen Belastungen auf die Struktur lassen sich durch Berechnung trennen. Eine neuartige Form der FBG vom Typ IA weist gegenüber den üblichen FBG vom Typ I eine andere Temperaturcharakteristik auf, besitzt jedoch gleiche Dehnungseigenschaften bei Untersuchungen bis 80°C [1]. Bei deutlich unterschiedlichen Temperaturkoeffizienten der Gitter ist es möglich, einen Doppelsensor für Temperatur und Dehnung abweichend von bisherigen Lösungen aufzubauen, der ohne mechanische Entkopplung auskommt, Einbau- und Handhabungsvorteile bietet, ein geringes Volumen und eine kurze Baulänge besitzt.

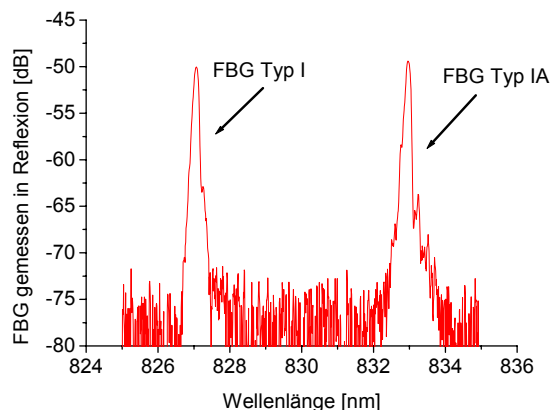
## 2 Experiment

Zur Untersuchung des Temperaturverhaltens wurde eine im eigenen Hause gefertigte Faser verwendet, die unter der Zielsetzung einer besonders hohen UV-Photoempfindlichkeit hergestellt wurde. Sie ist im Kern mit Germanium und Bor dotiert (vgl. [1]). Die Wasserstoffbeladung der Faser erfolgte bei 210 bar und 50°C über einen Zeitraum von 18 Tagen. Nach der Entnahme aus dem Autoklav wurde ein Teil der Faser gleich homogen belichtet, der andere Teil bis zu seiner Verwendung bei -60°C gelagert, so dass keine merkliche Ausdiffusion des Wasserstoffs eintritt.



**Abb. 1** Prinzipdarstellung eines Doppelsensors bestehend aus FBG vom Typ I und Typ IA

Die präparierte Faser (Abb. 1) wurde über einen ca. 9 mm langen Faserabschnitt vorbelichtet. Dazu wurde mit einem KrF-Excimerlaserstrahl (248 nm), der durch Blenden begrenzt wurde, über die Faser gescannt. Die Gesamtdosis betrug ca. 4.5 kJ/cm<sup>2</sup>. Nach der Vorbelichtung wurde die Faser bei 100°C ca. 100 h an Luft behandelt, so dass der molekular gelöste Wasserstoff komplett ausdiffundiert. Die FBG wurden danach mittels Talbot-Interferometer und KrF-Excimerlaser in die Faser mit einer Länge von ca. 5 mm eingeschrieben. Unter Beibehaltung der Gitterperiode für die FBG wurde in den nicht vorbelichteten Faserbereich ein Typ I Gitter eingeschrieben mit einer Bragg-Wellenlänge von 827 nm und das Typ IA Gitter in den vorbelichteten Faserbereich, das eine Bragg-Wellenlänge von ca. 833 nm besitzt (Abb. 2).



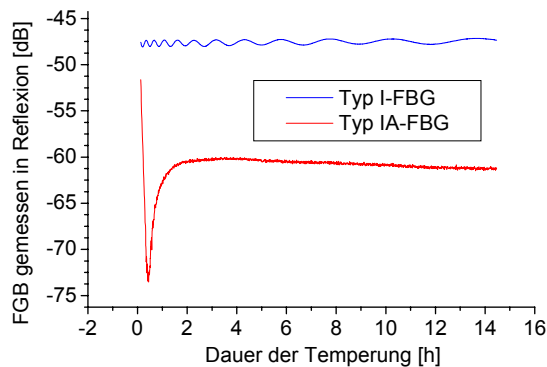
**Abb. 2** Spektrum eines FBG-Paares aus Typ I und Typ IA

Der Unterschied der Bragg-Wellenlängen wird aufgrund der Bragg-Bedingung ( $\lambda_{\text{Bragg}} = 2 \cdot n_{\text{eff}} \cdot \lambda_{\text{FBG}}$  mit  $\lambda_{\text{Bragg}}$  – Bragg-Wellenlänge,  $n_{\text{eff}}$  – effektive Brechzahl und  $\lambda_{\text{FBG}}$  – Gitterperiode der Brechzahlmodulation in der Faser) durch eine Änderung der effektiven Brechzahl bewirkt, da in beiden FBG die gleiche Gitterperiode in der Faser vorhanden ist. Die Änderung der effektiven Brechzahl, verursacht durch die Vorbelichtung, lässt sich so mit ca. 0.01 abschätzen.

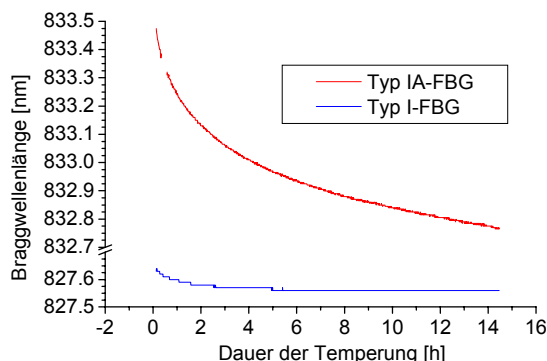
## 3 Ergebnisse

Vor der Bestimmung des Temperaturverhaltens der Gitter wurden diese bei einer etwas höheren Temperatur gealtert. Es sind gravierende Unterschiede zwischen dem Typ I und dem Typ IA Gitter festzustellen (Abb. 3 und 4). So verliert das Typ IA

Gitter sehr rasch seine Reflexion, so dass es nicht mehr messbar ist, erholt sich jedoch wieder auf einem Niveau von ca. 10 dB unterhalb des Ausgangswertes. Selbst nach einer Temperzeit von über 14 h ist noch keine Stabilität in der Reflexion und der Wellenlängenverschiebung eingetreten, die beim Typ I Gitter bereits nach ca. 5 h erreicht ist.

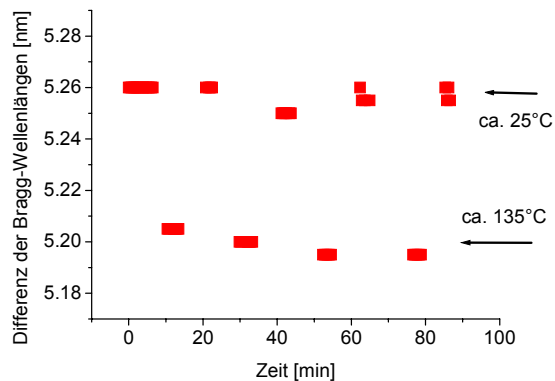


**Abb. 3** Veränderung der Reflexion bei Temperung eines FBG-Paares Typ I und Typ IA bei 150°C

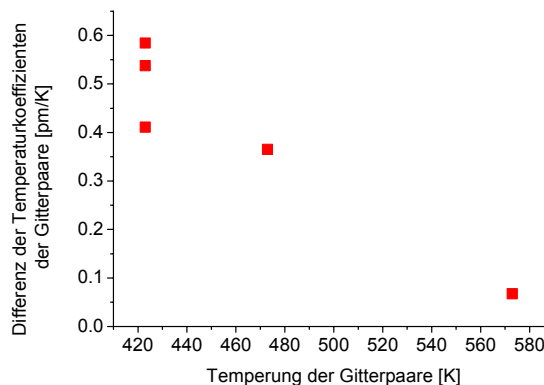


**Abb. 4** Veränderung der Bragg-Wellenlänge bei Temperung eines FBG-Paares Typ I und Typ IA bei 150°C

Die Bragg-Wellenlänge verschiebt sich beim Typ IA Gitter stetig zum kurzwelligen Bereich, was auf eine Abnahme der Brechzahlhöhung hindeutet, die durch die Vorbelichtung erzeugt wurde. Nach erfolgter Temperung bei 150°C, 200°C bzw. 300°C wurde der Temperaturkoeffizient zwischen Raumtemperatur und einer zur Temperung korrespondierenden niedrigeren Temperatur von 135°C, 135°C bzw. 200°C bestimmt. Es wurden mehrere Zyklen mit geringen Verweildauern bei der hohen Temperatur durchgeführt (Abb. 5). In Abb. 6 ist die Differenz der gemessenen Temperaturkoeffizienten über der Temperatur der Temperung dargestellt, die deutlich abnimmt bei höheren Temperaturen.



**Abb. 5** Wellenlängendifferenz zwischen den Bragg-Wellenlängen des Gitterpaares Typ I und Typ IA während Temperaturwechsel von ca. 25°C – 135°C



**Abb. 6** Differenz der Temperaturkoeffizienten jeweils eines Gitterpaares

#### 4 Schlussfolgerungen

Die derzeitigen erzielten relativen Unterschiede im Temperaturkoeffizienten von ca. 10 % bzw. 1 % nach Temperung bei 150°C bzw. 300°C lassen eine praktische Anwendung des Sensors aus Typ I und Typ IA-Gitter kaum erwarten.

Offensichtlich ist die Änderung des Temperaturkoeffizienten des Typ IA Gitters stark temperaturabhängig und sehr wahrscheinlich auch zeitabhängig. Die für sensorische Anwendungen nötige Konstanz der thermischen Eigenschaften ist z.Z. nicht gegeben.

Weiterführende Untersuchungen bzgl. des Temperaturverhaltens, zur thermischen Stabilität der Typ IA Gitter und der Möglichkeiten, diese zu erhöhen sind erforderlich.

#### Literatur

- [1] G. Simpson, K. Kalli, K. Zhou, L. Zhang and I. Ben-ion, "An idealised method for the fabrication of temperature invariant IA-I strain sensors", 16th Int. Conf. on Optical Fibre Sensors (OFS'2003), Nara, Japan, October 2003, Postdeadline Papers, pp. 14-17