

# Breitbandige Quarzglasfaser für Anwendungen im Wellenlängenbereich von 200 nm bis 2300 nm

Karl-Friedrich Klein\*, Valery Khalilov\*\*, John Shannon\*\*

\*Kompetenzzentrum "Optische Technologien und Systeme",  
Fachhochschule Gießen-Friedberg, W.-Leuschner-Str. 13, 61169 Friedberg

\*\*Polymicro Technologies, subsidiary of MOLEX, Phoenix, Az (USA)

<mailto:Karl-Friedrich.Klein@ots.fh-friedberg.de>

Eine neuartige Quarzglasfaser, mit undotiertem Quarzglaskern und F-dotiertem QuarzglasmanTEL, wird vorgestellt, die breitbandig von 200 nm bis 2300 nm eingesetzt werden kann. Diese Spezialfaser zeichnet sich durch die deutliche Verbesserung der UV-Beständigkeit bei extrem geringem OH-Gehalt aus.

## 1 Einleitung

Der steigende Bedarf von optischen Spezialfasern in Industrie, Medizin und Chemie wird stimuliert durch die gezielte Weiterentwicklung von Quarzglasfasern mit stufenförmigem Brechzahlprofil, die vom UV- bis zum NIR-Bereich vielfältig eingesetzt werden. Jedoch spielt der OH-Gehalt des synthetisch hergestellten Quarzglaskerns eine wichtige Rolle; es wird empfohlen, für den UV-Bereich > 500 ppm und den NIR-Bereich < 2 ppm einzusetzen.

Im Folgenden wird eine neue Spezialfaser vorgestellt, die breitbandig von 200 bis 2300 nm eingesetzt werden kann. Beispiele neuer Anwendungen in faseroptischen Systemen (Fig. 1) sind vielfältig.

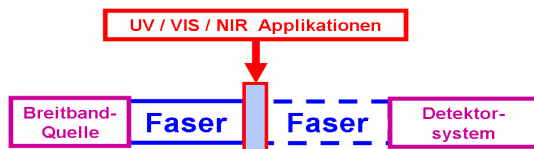


Fig. 1: Prinzipieller Aufbau eines faseroptische Mess-Systems [1,2]

## 2 Faserherstellung

Die untersuchten Quarzglasfasern bestehen aus einem Quarzglaskern und einem F-dotiertem QuarzglasmanTEL [3,4]. Das Kernmaterial kann einen hohen (> 600 ppm) und geringen (< 0,2 ppm) Wassergehalt, wenn das Material durch Direktabscheidung mittels Hydrolyse oder Plasma-Reaktion bzw. durch einen 2-Stufen-prozess, bestehend aus Soot-Abscheidung und Sinter-Prozess, hergestellt wird. Für die Vorform wird das F-dotierte Material durch das sog. Plasma-Outside-Deposition (POD) Verfahren auf einen rotierenden Kernstab als ManTEL abgeschieden [5]. Die Vorform [4] wird anschließend zur Faser mit einer Kunststoff-Hülle gezogen.

Materialmodifikationen für neuartige Spezialfasern sind in allen Verfahrensschritten möglich bzw. notwendig.

## 3 Spektrale Dämpfung

Die Fasern können durch die (interne) Transmission  $T_{\text{intern}}$ , die (interne) Dämpfung  $A_{\text{intern}}$  und das Dämpfungsmass  $\alpha$  in Abhängigkeit von der Wellenlänge  $\lambda$  beschrieben werden:

$$T_{\text{intern}} [\%] = 100 * P(\lambda, L^-) / P(\lambda, 0^+) \quad (1)$$

$$A_{\text{intern}} [dB] = (10) * \log(P(\lambda, 0^+) / P(\lambda, L^-)) \quad (2)$$

$$\alpha [dB / km] = A [dB] / L [km] \quad (3),$$

mit Eingangsleistung  $P(\lambda, 0^+)$  in der Faser  
Ausgangsleistung  $P(\lambda, L^-)$  in der Faser.

Das Dämpfungsmass (siehe Gl.(3)) der beiden oben genannten, kommerziell erhältlichen Quarzglasfasern, mit hohem oder geringem Wassergehalt, ist sehr unterschiedlich, wie in Fig. 2 dargestellt wird. Deshalb werden sie entweder im UV-/vis-/NIR Bereich (200 bis 1100 nm) oder im vis-/NIR Bereich (350 bis 2200 nm) eingesetzt.

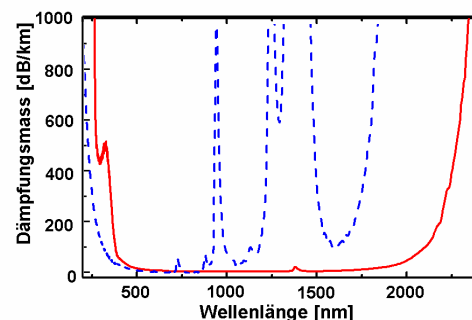


Fig. 2: Spektrales Dämpfungsmass einer wasserreichen (blau, gestrichelte Linie) und einer wasserarmen (rot, durchgezogene Linie) Quarzglasfaser mit 200 µm Kerndurchmesser

Neben der höheren Grunddämpfung entstehen zusätzlich bei der Übertragung von UV-Licht Absorptionsbanden von sog. UV-Defekten, die in der Tabelle 1 für wasserarmes Quarzglas zusammengefasst sind [6,7,8,9]. Details zu Defekten in wasserreichen Fasern sind in [10,11] enthalten.

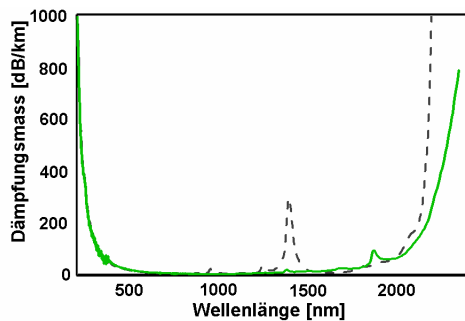
**Tab.1: UV-Defekte in Quarzglas**

214 nm: E <sub>α</sub> '-Zentren	≡ Si <sup>•</sup>
229 nm: E <sub>β</sub> '-Zentren	≡ Si <sup>•</sup>
243 nm: ODC 1	- O - Si - O -
254 nm: ODC 2	≡ Si - Si ≡
266 nm: NBOHC	≡ Si - O <sup>•</sup>
330 nm: Chlorbande	Cl - Cl
Peroxy-Bindung	≡ Si - O - O - Si ≡

#### 4 Experimentelle Ergebnisse mit den breitbandigen Quarzglasfasern

Neben den kommerziellen Fasern (siehe Kap. 3) wurden breitbandigere Fasern entwickelt, so dass neben dem kommerziellen Produkt FBP-Faser [12] auch F&E-Muster charakterisiert werden konnten. Die dazugehörige Messtechnik ist in [11] für Grund- und UV-Zusatzdämpfungen dargestellt.

Fig. 3 zeigt das spektrale Dämpfungsmass der breitbandigeren Fasern. Im Vergleich zu den wasserarmen Fasern ist ein höherer Wassergehalt in dem kommerziellen Produkt erkennbar. Neben der typischen OH-Absorptionsbande bei 1385 nm steigt die Grunddämpfung bei 2000 nm steiler an, da in diesem Bereich noch stärkere Bande auftreten [13]. Das F&E-Muster ist deutlich besser und mit der Standard-Faser mit geringem Wassergehalt oberhalb 2000 nm gleichwertig.



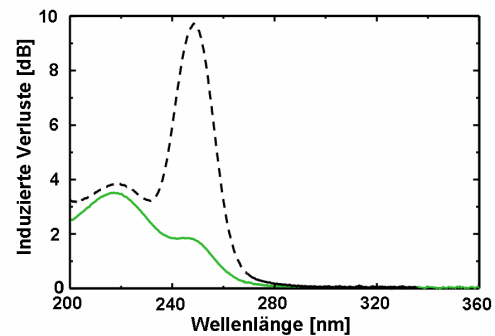
**Fig.4: Spektrales Dämpfungsmass von breitbandigen 200 μm Quarzglasfasern mit geringem Wassergehalt; FBP-Faser (schwarz, gestrichelte Linie) und F&E-Muster (grün, durchgezogene Linie)**

Im UV-Bereich ist auch erkennbar, dass die UV-Schädigung bei 250 nm durch Sauerstoff-Defekte (ODCs, siehe Tab.1) in F&E-Muster auch deutlich geringer sind und mit verbesserten, wasserhaltigen UV-Fasern [10,11] vergleichbar sind.

#### 5 Zusammenfassung und Ausblick

Diese breitbandigen Quarzglasfasern können erstmals den maximal möglichen Wellenlängenbereich von 200 bis 2300 nm abdecken. Durch die ausgezeichnete UV-Stabilität sind vielfältige Anwendungen im Bereich der Spektroskopie und Astronomie zu finden.

Neben weiteren Verbesserungen dieser Spezialfasern ist die Anpassung der FO-Komponenten, Optimierung von FO-Systemen sowie ein hoher Qualitätsstandard sinnvoll und wichtig.



**Fig.5: Spektrale UV-Zusatzdämpfung der Fasern in Fig. 4; Länge: 2m, UV-Bestrahlungszeit: 4 h**

#### Literatur

- [1] M. Belz: "Pollutant monitoring with fibre optics in the deep ultraviolet". PhD-Thesis, CITY University, London, Dez. 1998
- [2] H.S.Eckhardt, K.-F.Klein, B.Spangenberg, T.Sun, K. T.V.Grattan: „Fibre-optic UV Systems for gas and vapour analysis“. Proc. ICOLAD, Journal Phys.: Conf. 85 (2007), (London, Mai 2007)
- [3] Heraeus Quarzglas (Hanau): Datenblatt zu Fluosil-Vorform (1998)
- [4] K.-F.Klein, A.Mühlich: "Quarzglasfasern für unterschiedliche Anwendungen im Bereich von 0.2 μm und 2.4 μm". VDI-Berichte 673, S.147-177. (Karlsruhe, März 1988)
- [5] K.Rau, A.Mühlich, N.Treber: "Progress in silica fibers with fluorine dopant". Prof. OFC, Beitrag TuC4 (Williamsburg, 1977)
- [6] D.L.Griscom: „Defect structures of glasses“. J.Non. Cryst. Solids. Vol. 73, S. 51-78 (1985)
- [7] E.J.Friebele, D.L.Griscom: "Radiation effects in glass" in "Treatise on mat. science and technology". Acad.Press, New York, S. 257-351 (1979)
- [8] V.Kh.Khalilov, K.-F. Klein, G.Nelson: "Low-OH all-silica fiber with broadband transparency and radiation resistance in the UV-region". SPIE-Proc. BiOS'04, Beitrag 5317-9 (San Jose, Jan.04)
- [9] V.Kh.Khalilov, K.-F.Klein, A.V.Amossov: "Influence of drawing process on all-silica fibers". SPIE-Proc. Vol. 3262C (BiOS 98), S.166-172 (San Jose, Jan. 1998)
- [10] V.Kh.Khalilov, K.-F.Klein, J.Belmahdi, R.Timmerman, G. Nelson: "High-OH fibers with higher stability in the UV-region". SPIE-Proc. BiOS'06, Vol. 6083, Beitrag 6083-08 (San Jose, USA, Jan.06)
- [11] M.Belz, H.-S.Eckhardt, C.P. Gonschior, G.Nelson, K.-F.Klein: "Quality control of UV resistant fibers for 200-300 nm spectroscopic applications". SPIE-Proc. BiOS 08, Beitrag 6852-33 (San Jose, Jan. 2008)
- [12] Polymicro Technologies (Phoenix, USA): Datenblatt zu Quarzglasfasern (2009)
- [13] O. Humbach, H.Fabian, U.Grzesik, U.Haken, W.Heitmann: „Analysis of OH absorption bands in synthetic silica“. J. Non-Cryst. Solids, Vol 203, S. 19-26 (1996)