

Entwicklung optischer Großkernfasern für Ytterbium-Faserlaser hoher Pulsenergie

Jörg Bierlich, Jens Kobelke, Sylvia Jetschke, Stephan Grimm, Sonja Unger, Kay Schuster
Institut für Photonische Technologien e.V., Albert-Einstein-Str. 9, 07745 Jena, Deutschland

[mailto: joerg.bierlich@jpht-jena.de](mailto:joerg.bierlich@jpht-jena.de)

Die Verbreitung von Faserlasern in immer mehr Anwendungsgebieten sowie die gestiegenen Anforderungen an die Leistungsparameter solcher Lasersysteme machen eine Weiterentwicklung der Glasfaserkomponenten erforderlich. Zur Erhöhung der effektiven Pumplichtabsorption befasst sich die Studie mit der Realisierung und Charakterisierung von optischen Großkernfasern.

1 Einführung

Die glastechnologische Realisierung neuartiger Faserlaserkonzepte, wie z. B. X-LMA (extra large mode area) Faserlaser [1] oder Multikern-Faserlaser auf der Basis hoch-dotierter Quarzgläser, erfordert die Kombination verschiedener innovativer Fertigungsverfahren [2] wie die Reaktive-Pulver-Sinter-Technologie (REPUSIL-Verfahren), die Preformherstellung, den Faserziehprozess (Stack-and-Draw Technik) sowie eine umfassende Charakterisierung der Glasmaterialien zur Optimierung der einzelnen Prozessschritte.

Die vorgestellten Untersuchungen befassen sich hierzu mit der Materialentwicklung für Ytterbium-dotierte Laserfasern [3] und angepasste passive Fasern mit der Zielstellung, den laseraktiven Flächenanteil im Faserquerschnitt deutlich zu vergrößern. Die Faserentwicklung zielte hierbei auf die Herstellung von passfähigen aktiven und passiven Einzel-Großkernfasern bis hin zu Multi-Kernfasern mit 7 großen Kernen ab. Eine zusätzliche Steigerung des laseraktiven Volumens in Multi-Kernfasern soll eine weitere Erhöhung der effektiven Pumplichtabsorption und damit eine Verkür-

zung der Fasern zur Reduktion nichtlinearer Effekte in der Anwendung ermöglichen.

2 Preform- und Faserherstellung

Basierend auf dem Stack-and-Draw Verfahren, wurden mittels dichter Anordnung von zylindrischen Glasstäben zu einem Stabbündel makrostrukturierte Multifilament-Glaspreformen geschaffen. Entsprechend den Faser-Designstudien wurden hierbei laseraktive (Yb/Al/Ce-Dotierung) oder passive (Al-Dotierung) Kernstäbe mit undotierten Quarzglasstäben (F300) zu den gewünschten Preformgeometrien (Querschnittsform, Kern-Mantel-Verhältnis) angeordnet (Abb. 1). Die Realisierung derartiger Preformtypen erforderte zunächst die Fertigung entsprechender Glasstäbe durch Streckung von Primärpreformen auf der Glasdrehbank und am Faserziehturm. Die passiven und aktiven Primärpreformen wurden nach dem Pulver-Sinter-Verfahren aus dotierten Pulver-Formkörpern durch Flammenverglasung hergestellt. Die Konzentration der Dotanden war so zu wählen, dass die aktiven und passiven Faserkerne die gleiche, radial-homogene Brechzahlerhöhung gegenüber dem umgebenden Quarzglas aufweisen.

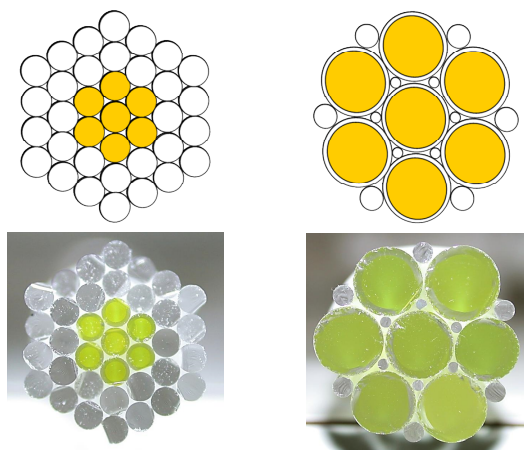


Abb. 1 Designstudien (oben) und Entwicklung von Multi-Kernpreformen durch Anordnung dotierter (gelb) und undotierter (weiß) Glasstäbe zu Stabpackungen (unten).

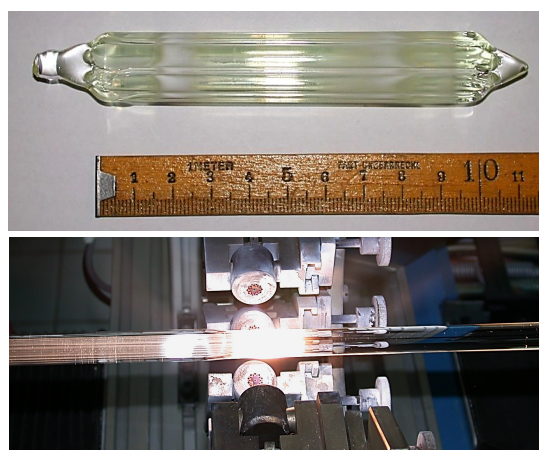


Abb. 2 Fixiertes Glasstabbündel (oben) und nachfolgende Umhüllung und Konsolidierung der Preformpackung in der Knallgasflamme auf einer Glasdrehbank (unten).

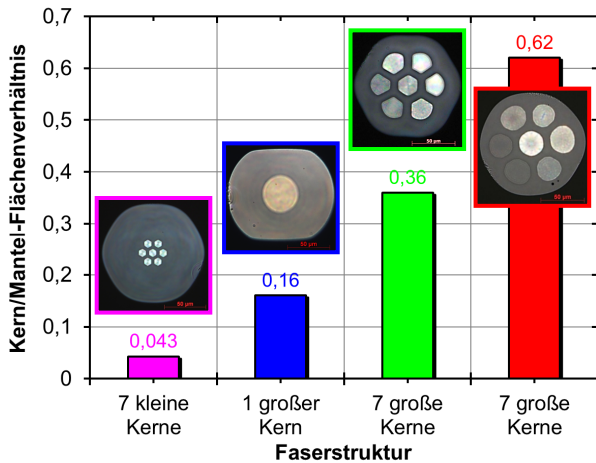


Abb. 3 Durch die Entwicklung von Multi-Großkernfasern konnte der laseraktive Flächenanteil im Faserquerschnitt kontinuierlich vergrößert werden.

Im weiteren Prozessverlauf wurden die beidseitig verschmolzenen Stabpackungen (Abb. 2, oben) im Chlorgasstrom bei einer Temperatur von etwa 1000°C gereinigt und in einem thermischen Konsolidierungsprozess bei einer Temperatur von etwa 2000°C mit einem dünnwandigen Glasmantelrohr umhüllt (Abb. 2, unten). Im abschließenden Faserziehprozess wurden die Preformen unter Aufrechterhaltung ihrer Querschnittsgeometrie zu Großkern-Glasfasern verzogen.

3 Ergebnisse und Diskussion

Aus den gefertigten Preformen wurden laseraktive und passive Einzel-Kernfasern und 7-Kernfasern mit verschiedenen Kerndurchmessern (9 µm bis 45 µm) bei gleichem Faserdurchmesser von etwa 125 µm hergestellt. Dabei konnten die geometrischen Faserparameter (insbes. die Position der Kernmittelpunkte) reproduziert werden, so dass eine verlustarme Kopplung von aktiven und passiven Fasern gleichen Typs möglich war.

Voraussetzung für einen effizienten Faserlaser kurzer Länge ist eine hohe Pumplichtabsorption. Abb. 3 veranschaulicht, wie der laseraktive Flä-

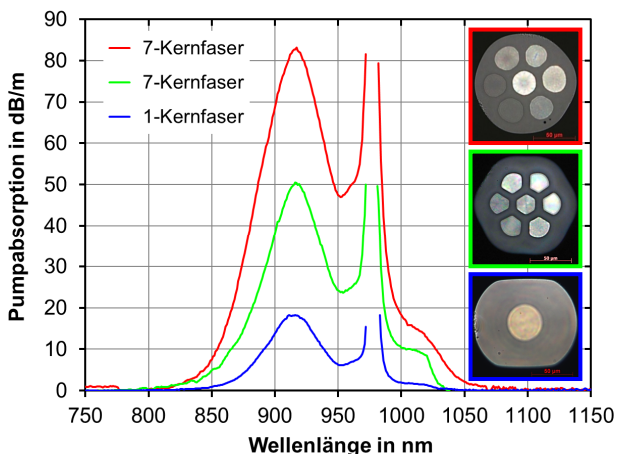


Abb. 4 Die Pumpabsorptionsspektren belegen eine Erhöhung der Pumplichtabsorption vom Einzel-Kernfaser-Design zu aktiven 7-Großkernfasern.

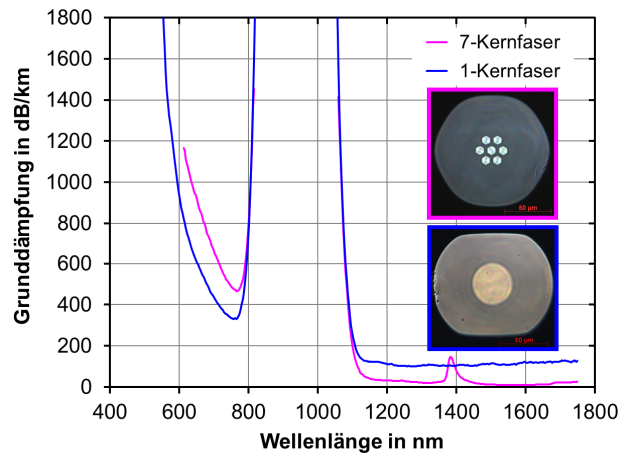


Abb. 5 Die Grunddämpfungsspektren zeigen geeignete Dämpfungswerte der aktiven Faserkerne von 0,03 dB/m und 0,11 dB/m bei einer Wellenlänge von 1200 nm.

chenanteil im Faserquerschnitt durch die Entwicklung von Multi-Großkernfasern kontinuierlich vergrößert werden konnte. Das wirkte sich unmittelbar auf die Höhe der absorbierten Pumplichtstrahlung aus, die in Abb. 4 im Wellenlängenbereich der Yb^{3+} -Absorption für verschiedene Fasertypen aufgetragen ist. Die Absorptionsspektren belegen eine erhebliche Steigerung der Pumpabsorptionen vom Einzel-Kernfaser-Design zu aktiven 7-Großkernfasern. Im Bereich der Pumpwellenlänge von 976 nm war die Yb^{3+} -Absorption für eine gesicherte Messwertaufnahme zu hoch.

Mit den in Abb. 5 dargestellten Einzel-Großkern- und Multi-Kernfasern wurden bei einer Wellenlänge von 1200 nm mit 0,11 dB/m bzw. 0,03 dB/m für den Laserbetrieb geeignete Kerngrunddämpfungen erreicht. Geringe Dämpfungswerte sind von Vorteil, da Hintergrundverluste des Kernmaterials zu Einbußen in der Effizienz des Faserlasers führen. Direkt im Bereich der Laserwellenlänge (1030 nm bis 1100 nm) ist aufgrund der noch beträchtlichen Yb^{3+} -Absorption keine Messung der Grunddämpfung möglich.

Danksagung

Die Autoren bedanken sich bei B. Müller, W. Ludwig und H.-J. Pißler für Preformpräparationsarbeiten, bei J. Dellith und A. Scheffel für die ESMA-Untersuchungen sowie bei S. Fehling und T. Eschrich für die Dämpfungs- und Pumpabsorptionmessungen. Gefördert durch das Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages.

Literatur

- [1] A. Langner et al., *Proc. of SPIE*, Vol. 7195 (2009) 71950Q-1.
- [2] D. Brand, J. Bierlich, S. Grimm et al., *Werkstofftechnik Aktuell*, ISSN 1868-6532.
- [3] M. Leich et al., *Optics Letters*, Vol. 36, Issue 9 (2011) 1557-1559.