

Optische Eigenschaften effizienter Er:Yb-Fasern mit reduzierter Kern-NA

Martin Leich* **, S. Jetschke*, S. Unger*, J. Kirchhof*

*Institut für Photonische Technologien e.V., Jena

**Institut für Physik, Technische Universität Ilmenau

<mailto:martin.leich@ipht-jena.de>

Im Rahmen des Europaprojektes „FIDELIO“ zur Entwicklung eines LIDAR-Detektionssystems wurden claddinggepumpte Er:Yb-dotierte Laserfasern entwickelt und mit Hilfe von Simulationsrechnungen und experimentellen Methoden auf ihre Effizienz untersucht.

1 Einführung

In den letzten Jahren haben sich Faserlaser aufgrund ihrer hervorragenden Strahlqualität und hohen Effizienz viele Anwendungen erschlossen. Für den Verstärkereinsatz innerhalb eines LIDAR-Detektionssystems wurden am IPHT quarzglasbasierte Er:Yb-dotierte LMA- (large mode area) Laserfasern mittels MCVD und Lösungsdotierung [1] entwickelt. Erbium bietet den Vorteil, bei $\lambda=1,55 \mu\text{m}$ Laserstrahlung zu emittieren. Dieser Wellenlängenbereich gilt als augensicher und ist daher für Freistrahlanwendungen gut geeignet.

Für die Realisierung effizienter Fasern (hoher Energietransfer von Yb^{3+} zu Er^{3+}) kurzer Länge sind große Kerne ($d=20\dots70 \mu\text{m}$) mit hohen Seltenerd- und Phosphordotierungen nötig, was wiederum eine zusätzliche Erhöhung der Kernbrechzahl bewirkt [2]. Um dennoch eine gute Strahlqualität zu gewährleisten, wurde eine Verringerung der effektiven Kern-NA angestrebt.

Die realisierten Fasern wurden hinsichtlich ihrer Pumpabsorption untersucht. Mit Hilfe verschiedener Simulationsmethoden wurde die Cladding-Geometrie optimiert. Laserexperimente dienen zur Beurteilung der Energietransfereffizienz.

2 Faserkonzepte

Zur Realisierung von Er:Yb-dotierten LMA-Fasern wurden zwei Konzepte angewandt: eine Multifilamentstrukturierung des Kerns und dessen Einbettung innerhalb eines brechzahlerhöhten Rings.

Beide Konzepte dienen der Absenkung der effektiven Kern-NA: Bei der MFC-Faser durch fluor-dotiertes Quarzglas zwischen den Filamenten, welche den Gesamtkern bilden, und bei der Sockelfaser durch den brechzahlerhöhten Sockel um den Kern, welcher durch Ge-Dotierung des Quarzglas erzeugt wurde (Abb. 1).

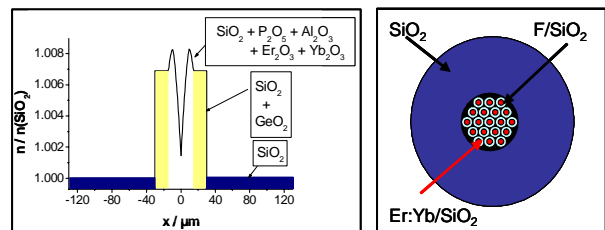


Abb. 1 LMA-Faserkonzepte: Sockelfaser (links), MFC-Faser (rechts)

Es wurden Sockelfasern mit Kern- und Manteldurchmessern zwischen $20\dots30 \mu\text{m}$ / $125\dots250 \mu\text{m}$ und eine Multifilamentkernfaser, bestehend aus 19 Einzelfilamenten mit Kern- und Manteldurchmesser von $40 \mu\text{m}$ / $225 \mu\text{m}$ hergestellt (Abb. 2).

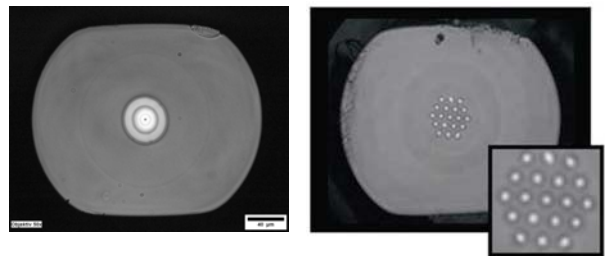


Abb. 2 Realisierte Sockel- (links) und MFC-Faser (rechts)

3 Pumpabsorptionsverhalten

Um den Einfluss verschiedener Cladding-Geometrien (Abb. 3) auf die erreichbare Pumpabsorption zu untersuchen, wurden Simulationsrechnungen mittels Raytracing und Modenberechnung durchgeführt und miteinander verglichen.



Abb. 3 Simulierte Cladding-Geometrien

Raytracing mit der Software „ZEMAX“ liefert eine gute und schnelle Aussage über das Transmissionsverhalten an relativ langen Fasern (bis 3 m). Durch Verwendung der Modenberechnungssoftware „FEMSIM“ konnten wellenoptische Effekte an kleinen Strukturen berücksichtigt und das MFC-Konzept bestätigt werden. Es zeigte sich, dass sich D- bzw. Doppel-D-förmige Claddings gut eignen, um die Pumpstrahlung chaotisch im Mantel zu verteilen. Letzteres wird dabei aufgrund des besseren Spleißverhaltens bevorzugt. Geringfügige Verbesserungen der Pumpabsorption sind durch weitere Anschliffe des Claddings möglich, wie beispielsweise bei der Triple-D- oder der Achteckform. Beide Simulationmethoden liefern ähnliche Ergebnisse, jedoch zeigt das Raytracingmodell bei Fasern mit Störung der Radialsymmetrie des Claddings (z. B. D-Faser) im Gegensatz zum Modenmodell ein exponentielles Abklingen der Transmission über die Faserlänge. Dieses Verhalten wird auch durch Dämpfungsmessungen an vergleichbaren Fasern anhand der Rückschneidemethode bestätigt (Abb. 4).

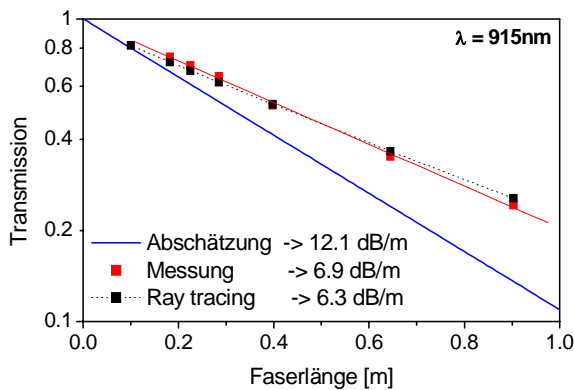


Abb. 4 Vergleich Messung und Raytracing an hochdotierter D-Faser

4 Lasereperimente

Zur Beurteilung der Lasereigenschaften und der Energietransfereffizienz von Yb^{3+} zu Er^{3+} wurden an einem Fabry-Perot-Laseraufbau Laserkennlinien und Emissionsspektren der realisierten Fasern aufgenommen (Abb. 5).

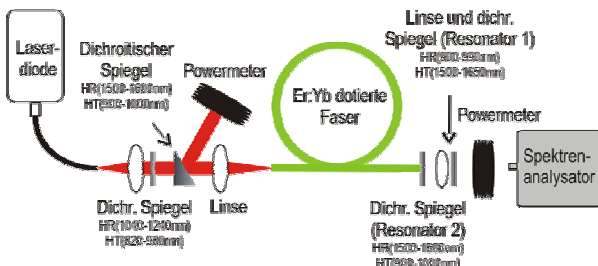


Abb. 5 Messaufbau zur Charakterisierung der Lasereigenschaften

Es zeigt sich eine starke Abhängigkeit der erreichbaren Laseranstiegseffizienz von der Faser-

länge, was auf Verlustprozesse bei größeren Längen hinweist und deshalb eine experimentelle Bestimmung der optimalen Faserlänge erforderlich macht (Abb. 6).

Es konnten an den Sockelfasern Anstiegseffizienzen bis zu 40% nachgewiesen werden, was für einen sehr guten Energietransfer im Kernmaterial spricht. Die MFC-Faser, welche eine höhere Stabilität des Modenfeldes aufweist, zeigte eine relativ geringe Pumpabsorption und eine Lasereffizienz von 21%. Dies kann jedoch durch höhere Dotierungen der aktiven Filamente verbessert werden.

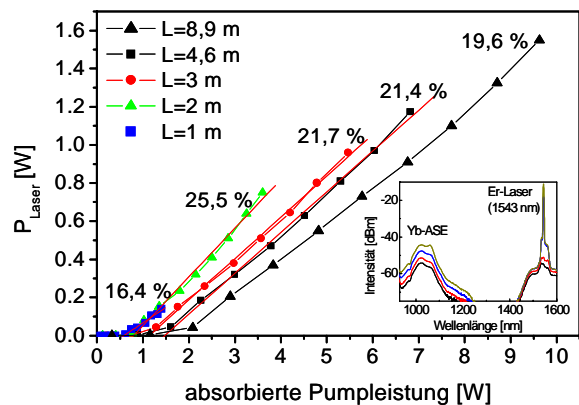


Abb. 6 Längenabhängigkeit der Laseranstiegseffizienz

5 Zusammenfassung

Am IPHT konnten Er:Yb-dotierte LMA-Fasern entwickelt und hergestellt werden, die hohe Laseranstiegseffizienzen im CW (continuous wave)-Betrieb aufweisen und für den Verstärkerbetrieb im augensicheren Spektralbereich bei $\lambda=1,55 \mu\text{m}$ auch unter Einsatz kurzer Faserlängen ($<3 \text{ m}$) gut geeignet sind. Weiterhin konnte gezeigt werden, dass sich Raytracing, ergänzt durch Modensimulation, sehr gut zur Bestimmung der Pumpabsorption und damit zum Design neuer Fasern eignet.

Danksagung

Diese Arbeit wurde im Rahmen des EU-Projektes „FIDELIO“ gefördert (AST4-CT-2004-012008).

Literatur

- [1] V. Reichel, S. Unger, P. Rosemann, J. Kirchof, H.-R. Müller, H. Bartelt, "Seltenerd-dotierte Doppelkern-Lichtleitfasern auf Quarzglasbasis", *Laser und Optoelektronik* 29, 60-66, 1997
- [2] S. Unger, A. Schwuchow, J. Dellith, J. Kirchof, "Codoped materials for high power fiber lasers - diffusion behaviour and optical properties", *Photonics West, San Jose 2007, Optical Components and Materials IV*, 6469-38, 2007