

Seltenerd-kodiertes Glas für Hochleistungs-Faserlaser

V. Reichel*, S. Unger*, S. Jetschke*, K. Mörl*, H.-R. Müller*, J. Kirchhof*, H. Bartelt*, A. Liem**

*Institut für Physikalische Hochtechnologie e.V. Jena,

**Institut für Angewandte Physik der Friedrich-Schiller-Universität Jena

[mailto: volker.reichel@ipht-jena.de](mailto:volker.reichel@ipht-jena.de)

Zur Skalierung der Ausgangsleistung von Hochleistungs-Faserlasern sowie für die Erschließung neuer Wellenlängenbereiche ist der Einsatz von seltenerd-kodierten Gläsern ein wissenschaftlich und wirtschaftlich äußerst interessanter Lösungsansatz. Dieser wird für unterschiedlich kodierte Quarzglas-Lichtleitfasern vorgestellt und anhand erster Ergebnisse diskutiert.

1 Motivation

Am IPHT e.V. Jena werden seit mehr als 15 Jahren spezielle, seltenerd-dotierte Lichtleitfasern für den Einsatz in optischen Verstärkern und Faserlasern entwickelt, präpariert und getestet. Insbesondere Neodym (Nd)-, Erbium (Er)- und Ytterbium (Yb)-dotierte Lichtleitfasern auf Quarzglasbasis wurden für verschiedene Anwendungen im kontinuierlichen Betrieb untersucht. So konnten Er-Faserverstärker für die Telekommunikation und Nd- bzw. Yb-Faserlaser für die Materialbearbeitung aufgebaut werden [1]. Die dabei erreichten Ausgangsleistungen stiegen insbesondere in den letzten Jahren exponentiell an.

Weitere Entwicklungsmöglichkeiten bieten sich durch die Kodotierung einer Lichtleitfaser mit mehreren verschiedenen Seltenerd-Elementen. So können z.B. neue Wellenlängenbereiche (z.B. 2,0 μm) erschlossen werden. Darüber hinaus sind die insbesondere für die Absorptionswellenlängen des Yb-Ions vorhandenen leistungsstarken Diodenlaser auch für Faserverstärker / -laser in anderen Wellenlängenbereichen nutzbar. Schließlich ermöglicht die Kombination mehrerer Seltenerd-Elemente in einer Faser die weitere effiziente Leistungsskalierung bis in den Kilowattbereich.

Dadurch ergeben sich auch neue Anwendungsfelder in der Telekommunikation, der Medizintechnik und bei der Materialbearbeitung.

2 Grundprozess

Bei der Emission von Laserstrahlung auf der Basis von Lichtleitfasern mit verschiedenen Seltenerd-Elementen werden sogenannte Energietransferprozesse ausgenutzt. Es wird zunächst nur eines der Seltenerd-Elemente (z.B. Yb) angeregt, dass seine von der Pumpstrahlung absorbierte Energie strahlungslos und sehr schnell an das andere Seltenerd-Ion überträgt. Beim Übergang des zweiten Seltenerd-Ions vom oberen Laserniveau zum Grundzustand kommt es dann zur Emission von Laserstrahlung.

Diese Energietransferprozesse wurden für Yb:Er- (Emission bei ca. 1,5 μm), Nd:Yb- (Emission: ca. 1,1 μm) Lichtleitfasern näher untersucht.

3 Ergebnisse für Er:Yb-Faserlaser

Die Nutzung der leistungsstarken Pumpquellen im Absorptionsbereich des Yb (915, 940, 975 nm) ist insbesondere für leistungsstarke Faserlaser bei 1,55 μm sehr interessant, da für die direkte Anregung des Er-Ions (1,48 μm) nicht so leistungsstarke Pumpquellen zur Verfügung stehen.

Es wurde eine Yb:Er-kodotierte Lichtleitfaser mit einem Pumpkern von 400 μm bzw. einem laseraktiven Kern von 40 μm präpariert.

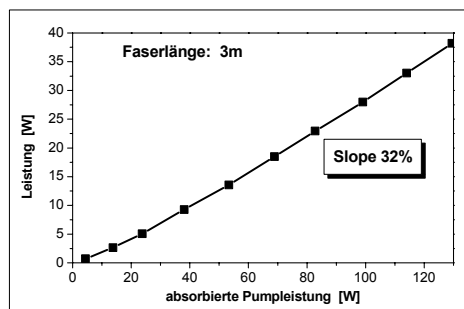


Abb. 1 Kennlinie eines Yb:Er-Faserlasers

Abb.1 zeigt die Kennlinie eines Yb:Er-Faserlasers mit einer 3 m langen Faser dieses Typs. Der Faserlaser wurde einseitig, aber gleichzeitig mit einer maximalen Leistung von 65 Watt (@ 930 nm) und 85 Watt (@ 970 nm) gepumpt. Die beiden Pumpwellenlängen wurden dabei mit einem Kantenfilter in die gleiche Zuführungsfaser eingekoppelt.

Der vollzogene Energietransfer vom Yb zum Er ist auch im Spektrum (Abb. 2) gut zu erkennen, da im Bereich der Yb-Emission keine Laseremission stattfindet.

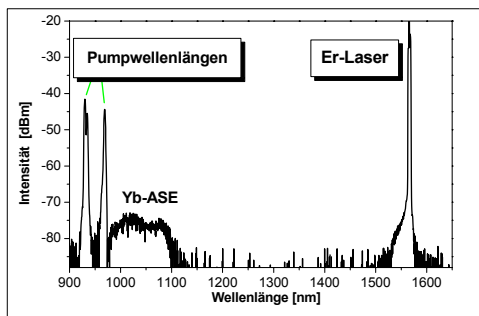


Abb. 2 Emissionsspektrum des Er:Yb-Faserlasers

4 Ergebnisse Nd:Yb-Faserlaser

Die gute Überlappung des Emissionsquerschnittes des Nd und des Absorptionsquerschnittes des Yb im Bereich von 880 nm und 1,06 μm gestattet einen sehr effizienten Energietransfer vom Nd zum Yb. Die Transfereffizienz wurde mit Hilfe des Fluoreszenzabklingverhaltens von Nd- und Nd:Yb-Fasern experimentell ermittelt und betrug etwa 50%.

Aus einem endgepumpten Nd:Yb-Faserlaser (Faserlänge ca. 40 m, Pumpkerndurchmesser 400 μm , Laserkern: ca. 25 μm) konnten mehr als 800 Watt Ausgangsleistung bei einer optisch-optischen Effizienz von ca. 80% extrahiert werden. Die hohe Effizienz ist ein weiterer Beweis für den Energietransfer vom Nd zum Yb. Das System wurde gleichzeitig bei 808 (Nd), 930 (Yb) und 970 nm (Yb) gepumpt. Die gesamte Pumpleistung wurde über eine Zuführungsfaser (Durchmesser 600 μm) in nur ein Faserende eingekoppelt.

5 Hochleistungs-Faserlaser

Durch die Optimierung der Fasergeometrie (Vergrößerung des Laser- und Pumpkerndurchmessers sowie Einführung einer zusätzlichen Quarzglasschicht mit angepasster Brechzahl zwischen Pumpkern und dem Polymercoating) konnte die Ausgangsleistung nochmals deutlich erhöht werden.

Für die effiziente Einkopplung und Absorption der Pumpleistungen im Kilowattbereich wurde der Pumpkerndurchmesser auf 600 μm , der Laserkerndurchmesser auf ca. 40 μm erhöht. Weiterhin wurde in die Doppelkernstruktur der Faser eine brechzahlangepasste dotierte Quarzglasschicht zwischen dem Pumplichtmantel und dem Polymermantel eingebracht. Diese Zwischenschicht, aufgebracht durch die Firma CeramOptec in Bonn hatte zur Folge, dass die hohe thermische Belastung der Grenzfläche zwischen undotiertem

Quarzglas und dem Polymermantel insbesondere bei hohen Pump- bzw. Laserleistungen deutlich reduziert wurde. Der experimentelle Aufbau ist in Abb.3 schematisch dargestellt. Aus einer 50 m langen Faser konnten so mehr als 1,2 kW extrahiert werden. Die Strahlqualität war besser als 3fach beugungsbegrenzt [2].

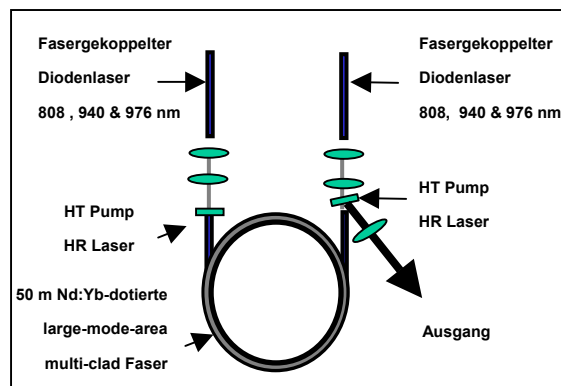


Abb. 3 Schematischer Aufbau Faserlasers experiment

6 Anwendungen

Die Hochleistungs-Faserlaser können sowohl in der Materialbearbeitung als auch in der Beschriftungsindustrie eingesetzt werden. In beiden Fällen sind die hervorragende Strahlqualität sowie der einfache und robuste Aufbau entscheidende Wettbewerbsvorteile.

7 Zusammenfassung

Es wurden neuartige seltenerd-kododierte Lichtleitfasern auf Quarzglasbasis entwickelt, präpariert und charakterisiert, die in verschiedenen Faserlaseraufbauten für die Erschließung neuer Wellenlängenbereiche und zur Leistungsskalierung bis in den Kilowattbereich eingesetzt wurden. Der Energietransfer wurde sowohl für Yb:Er-, als auch für Nd:Yb-Fasern nachgewiesen.

8 Danksagung

Diese Arbeit entstand in enger Zusammenarbeit mit den Firmen Laserline GmbH (Hochleistungs-Diodenlaser) und CeramOptec (Preform-/Fasertechnologie) und wurde durch das BMBF und das Thüringer Wissenschaftsministerium (TMWFK) finanziell unterstützt.

Literatur

- [1] V. Reichel et al.: „Yb- Faserlaser hoher Ausgangsleistung: Stand und Perspektiven“, 102. DgaO-Tagung Göttingen, Juni 2001
- [2] A. Liem et al.: „1.3 kW Yb-doped fiber laser with excellent beam quality“ Postdeadline Paper CPD2, CLEO 2004, San Francisco (USA), Mai 2004