

HOCHLEISTUNGSKOMPONENTEN FÜR FASERLASER

HIGH-POWER COMPONENTS FOR FIBER LASERS

Faserlaser spielen heutzutage eine nicht unerhebliche Rolle in Anwendungen wie der Materialbearbeitung. Hohe Leistungen und beugungsbegrenzte Strahlqualität sowie Gesamteffizienzen von über 20 % sind die Markenzeichen dieser Laser. Für Anwendungen mit speziellen Anforderungen an optische Parameter, wie Kurzpuls- oder einfrequente Laser hoher Leistung, müssen Spezialfasern und Verstärkerarchitekturen aufgebaut werden (Abb. 1). Hierbei kann größtenteils nicht auf kommerzielle Komponenten zurückgegriffen werden. Ausgehend von solchen Herausforderungen sind neue Konzepte und Vorrichtungen zu deren Lösung entwickelt worden.

Die Ausgangscharakteristik eines mit einer photonischen Kristallfaser betriebenen Hochleistungslasers ist in Abb. 2 dargestellt. Das Eingangssignal wurde von einem kompakten Faserlaser (JTOE) mit einer Ausgangsleistung von 200 W geliefert. Dieser ist vom eigentlichen Hauptverstärker durch einen Hochleistungsisolator für unpolarisierte Strahlung (JTOE) optisch getrennt. Die Hauptverstärkerfaser (photonische Kristallfaser, PCF) besitzt einen Pumpkerndurchmesser von 500 μm , realisiert durch einen Luftmantel und einen aktiven Stufenindex-Kern mit einem Durchmesser von 26 μm , sodass sich eine Faserlänge aufgrund der Pumplichtabsorption bei 976 nm von 15 m ergab. Gepumpt wurde diese Faser durch

Nowadays, fiber lasers play a major role in material processing applications. High power levels and diffraction-limited beam quality as well as wall-plug efficiencies of more than 20 % are distinct features of these lasers. For application with special optical requirements like high-power short pulse or single-frequency lasers, custom designed fibers and amplifier systems have to be used (Fig. 1). In most of these cases, there are no commercial components available. Therefore, based on these challenges, new concepts and equipment to solve such issues have been developed.

The output characteristic of a high power photonic crystal fiber amplifier is shown in Fig. 2. The seed signal is provided by a compact fiber laser (JTOE) with an output power of 200 W. It is optically isolated from the main amplifier by a high power isolator (JTOE) for unpolarized light. The main amplifier (photonic crystal fiber, PCF) offers a 500 μm pump core realized by an air-cladding and a rare-earth doped step-index core with a size of 26 μm , resulting in a pump light absorption length of 15 m at 976 nm. The fiber was pumped by a fiber pigtailed diode laser imaged to one end of the fiber. The total extracted power was 2500 W. The beam quality has been measured to be $M^2 < 1.3$ in the output power range up to 1800 W.

1 Faserlasersystem.

1 Fiber laser system.

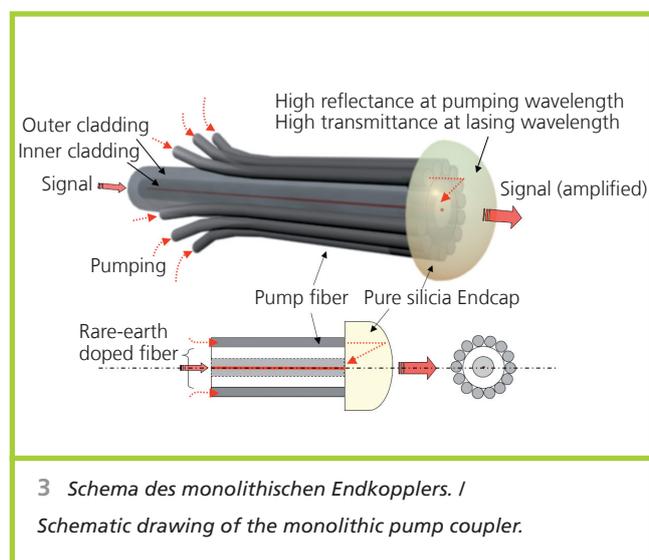
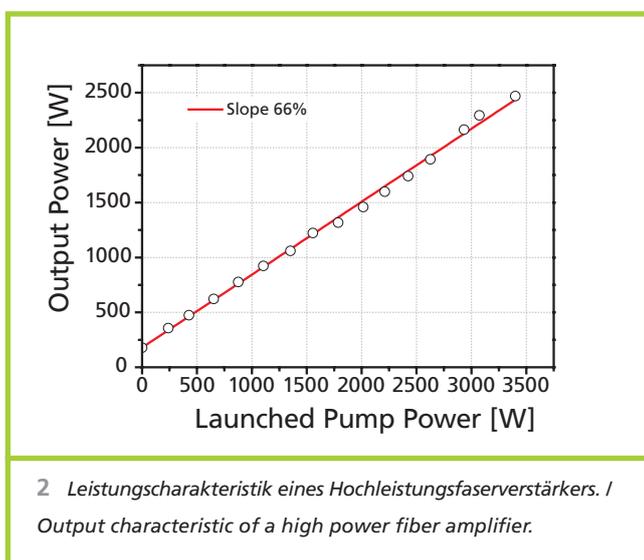
das Faserende mittels eines fasergekoppelten Hochleistungsdiolenlasers über eine Freistrahloptik. Es konnte eine Leistung von 2500 W extrahiert werden. Die Strahlqualität von $M^2 < 1,3$ wurde bis zu einer Leistung von 1800 W gemessen.

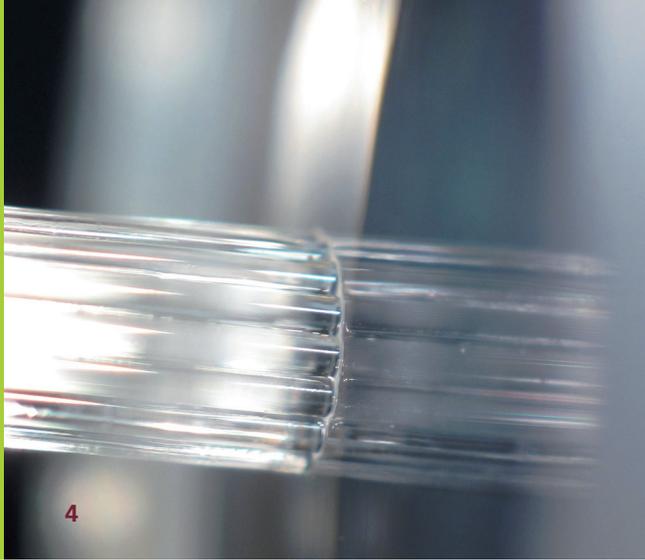
Um eine solche Faser in kompakteren Aufbauten zu benutzen, sind neue Konzepte zur Pumplichteinkopplung notwendig.

Das hier verfolgte Konzept ist in Abb. 3 dargestellt. Mehrere Pumpfasern sind konzentrisch um die aktive Faser angeordnet. Das von diesen Fasern gelieferte Pumplicht wird über die gekrümmte innere Fläche einer angespleißten Plan-Convex-Linse (Abb. 4) in den Pumpkern der aktiven Faser abgebildet. Die Fläche der Endkappe ist dichroisch beschichtet, sodass Pumplicht reflektiert wird und Laserlicht aus dem aktiven Faserkern kommend transmittiert wird. Somit ist es bei entsprechender Auslegung der Endkappe möglich, Leistungsdichten beim Strahlaustritt zu vermindern und neben der monolithischen Pumplichteinkopplung eine hohe Leistungsstabilität zu gewährleisten.

In order to be able to use such a fiber in a more compact setup, novel pump concepts are required.

Figure 3 shows the concept, which is described in the following. Several pump fibers are arranged concentrically around an actively doped fiber. The pump light delivery by these fibers is imaged by the curved surface of the spliced end-cap to the pump core of the active fiber. This curved surface has a dichroic multilayer coating reflecting the pump light but transmitting laser light from the active core of the fiber. With a suitable design of the end-cap it is therefore possible to reduce the power density at the beam exit and to realize high power stability as well as a monolithic pump light coupling.





Bei Verwendung von 5 der möglichen 14 Pumpfasern (Abb. 5) wurde eine eingekoppelte Leistung von 42 W mit einer Effizienz von 81 % erreicht. Thermische Effekte sind aufgrund der Linearität der erhaltenen Kennlinie nicht erkennbar. Weitere experimentelle Tests zeigten eine ebenso gute Einkopplung für einen weiteren Ring von Pumpfasern um die aktive Faser. Damit erhöht sich nicht nur die Anzahl der möglichen Fasern und die Leistung, sondern auch die hohe numerische Apertur des Pumpmantels von $NA = 0,5$ wird besser ausgenutzt. Das theoretische Limit bei dieser Fasergeometrie liegt bei vier nutzbaren Ringen und damit möglichen Pumpleistungen von einigen kW. Der Koppler stellt ein monolithisches Koppelkonzept für Pumplicht dar, bei dem das verstärkte Licht als Freistrahler durch eine Endkappe ausgekoppelt wird und somit beispielsweise zur weiteren Nutzung in einem Gitterkompressor als Teil eines Kurzpuls-Faserverstärkers (siehe Beitrag Seite 50) eingesetzt werden kann.

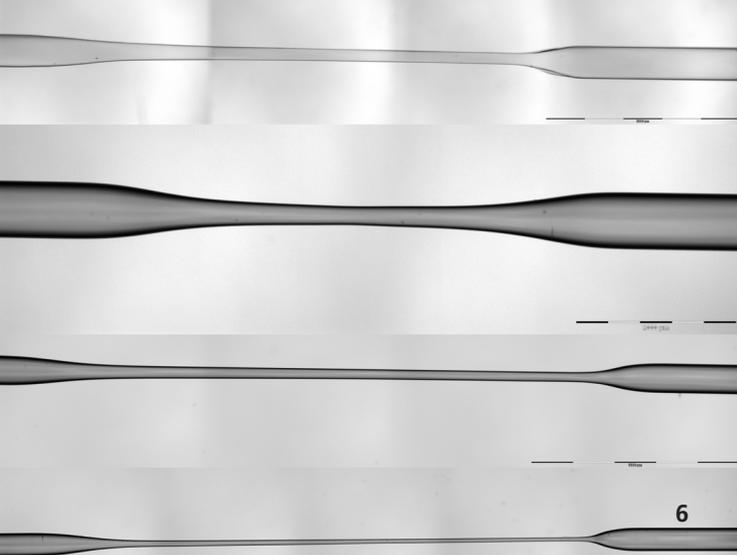
Zusätzlich zu diesen Pumpkoppelkonzepten wurden zur Verlustminimierung bei der Erzeugung und Übertragung hoher Laserleistung über verschiedene Faserquerschnitte unterschiedliche Taper- und Spleißkonzepte evaluiert. Auf Basis einer am Institut bestehenden Spleißvorrichtung für Endkappen wurde eine weitere Vorrichtung entwickelt, die neben dem Spleißen von unterschiedlichen Faserdurchmessern auch das Tapern und Kollabieren von optischen Wellenleitern und Kapillaren (Abb. 6) und somit weitere Komponenten für Hochleistungs-faserlaser ermöglicht.

Diese Arbeiten wurden vom BMBF im Rahmen des Projekts Fabri »Faserlaser höchster Brillianz« unter FKZ 13N9099 gefördert.

Using five of the 14 pump fibers available (Fig. 5), a coupled power of 42 W with an efficiency of 81 % was realized. No thermal effects have been observed as a result of the linearity of the coupling characteristics. Additional experiments showed a similar coupling efficiency using the next possible outer ring of pump fibers around the active fiber. It is therefore not only possible to increase the number of fibers and launched power, but also to make better use of the high numerical aperture $NA = 0.5$. The theoretical limits of the fiber shown here are four rings of pump fibers and therefore a total power of several kW. This device provides a monolithic pump coupling concept, where the amplified light is emitted through the end-cap for further use, for instance, in a grating compressor as part of a short pulse fiber amplifier system (see article on page 50).

Additionally to these pump coupling concepts, different taper and splicing concepts were evaluated for minimized losses during creation and delivery of laser light within a fiber. On the basis of a home-built splicing device used for fiber end-caps, a new tapering device was set up, which can be used not only for splicing fibers of different diameters but also for tapering and collapsing of optical waveguides and capillaries (Fig. 6). With this device, novel components for high power lasers are now possible.

This work is supported by the German federal ministry of education and research (BMBF) within the project Fabri under contract number FKZ 13N9099.



6

4 *Angespleißtes Faserbündel. / Spliced fiber bundle.*

5 *Präparierte Pumpfasern um eine photonische Laserfaser. / Pump fibers surrounding an active photonic crystal fiber.*

6 *Getaperte Faser. / Tapered fiber.*

AUTHORS

*Thomas Schreiber
Christian Hagemann
Jun Ki Kim
Thomas Peschel
Steffen Böhme
JT Optical Engine GmbH*

CONTACT

*Dr. Thomas Schreiber
Phone +49 3641 807 352
thomas.schreiber@iof.fraunhofer.de*

*Dr. Ramona Eberhardt
Phone +49 3641 807-312
ramona.eberhardt@iof.fraunhofer.de*