

Optische Charakterisierung und Eigenschaften aktiver und passiver Photonischer Kristallfasern (PCFs)

K. Mörl, H.-R. Müller, J. Kobelke, K. Schuster, H. Bartelt

Institut für Physikalische Hochtechnologie e.V. (IPHT)
Jena

<mailto:klaus.moerl@ipht-jena.de>

Photonische Kristallfasern oder mikrostrukturierte Fasern bieten gegenüber herkömmlichen Lichtleitfasern einen wesentlich größeren Gestaltungsspielraum zur Einstellung spezieller Fasereigenschaften. Für die Entwicklung einer optimalen Herstellungstechnologie wie auch für die Bewertung der Anwendungsmöglichkeiten ist die Erfassung der grundlegenden Faserparameter erforderlich.

1 Einführung

Bei herkömmlichen Lichtleitfasern werden die Lichtführungseigenschaften durch dotierungserzeugte Brechzahlprofile bestimmt. Die durch Dotierungen erreichbaren Veränderungen der Materialeigenschaften unterliegen allerdings technologischen und materialbedingten Beschränkungen. PCFs bestehen typischerweise aus einem einzigen Materialsystem (z. B. Quarzglas), in dem in regelmäßiger Anordnung die Faser längsdurchziehende Luftlöcher eingebracht sind. Größe und Anordnung dieser Kapillaren bestimmen wesentlich die

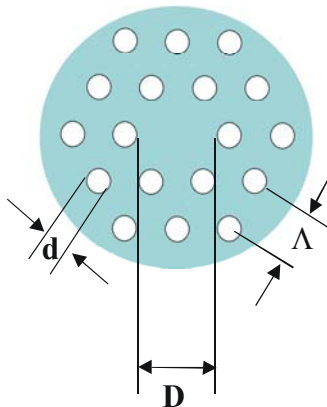


Abb. 1 Struktur einer indexgeführten PCF mit charakteristischen Größen

Fasereigenschaften, wobei bei der Lichtführung zwischen sog. Indexführung und sog. Bandgap-Führung unterschieden wird. Bei PCFs sind deshalb angepasste Methoden zur Bestimmung der Brechzahlprofile und anderer Fasereigenschaften erforderlich. Photonische Kristallfasern bieten neue Freiheitsgrade zur Gestaltung von Fasern mit z.B. unüblichen Dispersions-, Doppelbrechungs- und Nichtlinearitätseigenschaften [1].

2 Faserherstellung

Die Herstellung der Photonischen Kristallfasern erfolgt in zwei technologischen Schritten. In einem ersten Schritt werden entsprechende Kapillaren gebündelt, fixiert und mit einem Mantelrohr umgeben um dann in einem zweiten Schritt zur endgültigen Faser verzogen zu werden. Kritisch ist dabei die geeignete Druckbeaufschlagung zur Einstellung der entsprechenden Kapillardurchmesser.

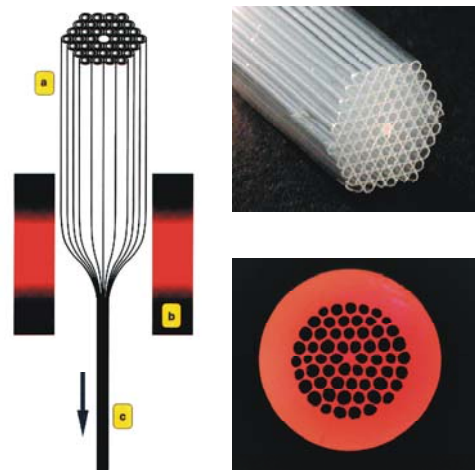


Abb. 2 Herstellungsprozeß von Photonischen Kristallfasern

3 Charakterisierung

Die wichtigste Methoden zur Charakterisierung der PCFs bezüglich Modenfeld, Dämpfung und Dispersion sind im Folgenden mit Beispielen benannt. Messungen des Modenfelddurchmessers und Bestimmung der Modenstruktur erfolgen durch Mikroskopkameratechniken (auch im NIR).

Messungen des Fernfeldes dienen der Bestimmung der Numerischen Apertur (NA). In Analogie zu herkömmlichen Fasern bestimmt sich die NA nach

$$NA = \sqrt{n_k^2 - n_m^2} \quad (1)$$

wobei n_k und n_m die effektiven Brechzahlen von Kern- und Mantelbereich darstellen. Die Abhängigkeit der NA von Größe und Abstand der Luftlöcher ist in Abb.3 dargestellt und kann weite Bereiche überdecken.

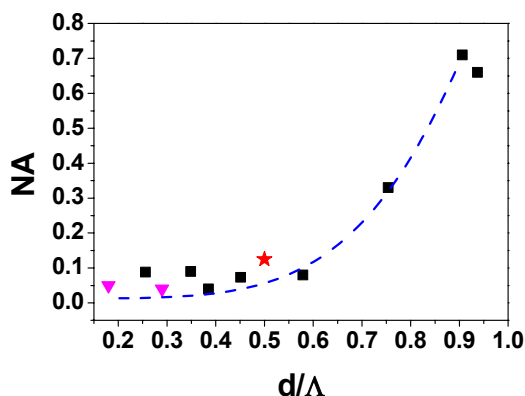


Abb.3 Abhängigkeit der NA von den geometrischen Verhältnissen

Die cut-off-Wellenlänge von PCFs kann in ähnlicher Weise wie bei herkömmlichen Fasern mit Hilfe des V-Parameters

$$V = \frac{2\pi}{\lambda} \Lambda \sqrt{n_k^2 - n_m^2} \quad (2)$$

definiert werden.

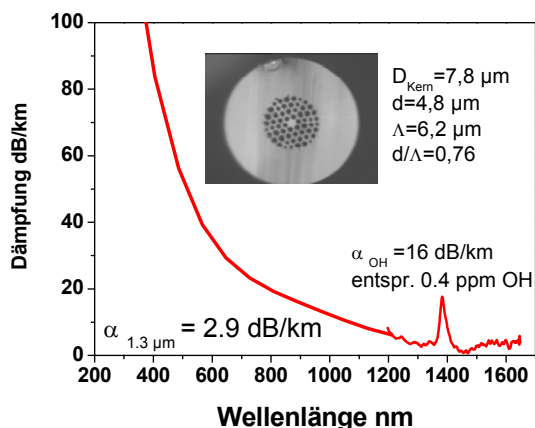


Abb. 4 Dämpfungskurve einer PC-Faser

Dabei wird die Grenze zur Single-Modigkeit durch $V \leq \pi$ gegeben. PC-Fasern weisen die Besonder-

heit auf, daß für bestimmte Geometrien ($d/\Lambda \leq \text{ca. } 0.4$) sog. endlose Single-Modigkeit auftritt.

Die Dämpfung der PCFs hängt entscheidend von ihrer Struktur und deren Perfektion ab. Die Messung erfolgt nach der bekannten Rückschneid-Methode (Abb. 4). Die zur Zeit besten veröffentlichten Dämpfungswerte sind 0.37 dB/km (1550 nm) für indexgeführte Fasern /2/ und 1.7 dB/km (1656 nm) /3/ für Bandgap-Strukturen.

Nur bei PCFs gelingt es den Bereich anomaler Dispersion in den Bereich < 1300 nm und bis in den sichtbaren Bereich zu verschieben. Damit eröffnen sich in diesem Gebiet völlig neue Möglichkeiten zur Schaffung von z.B. Kurzpulslasern, Solitonenquellen, Pulscompressoren. In Abb. 5 ist die wellenlängenabhängige Dispersion einer im In-set gezeigten PCF im Vergleich mit der Materialdispersion reinen Quarzes (gemessen mit einem Mach-Zehnder-Interferometer) gezeigt.

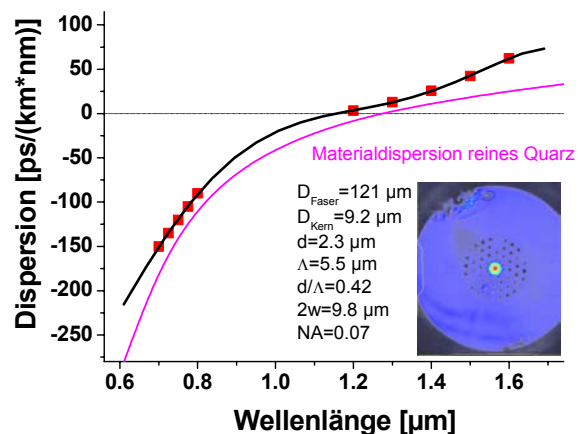


Abb. 5 Dispersionsverhalten einer PCF

4 Danksagung

Wir danken der Deutschen Forschungsgemeinschaft für die Unterstützung im Rahmen des Schwerpunktprogramms "Photonische Kristalle".

5 Literatur

- /1/ J. Kirchhof et al., Photonic Crystal Fibres, in Photonic Crystals (Busch, Lölkes, Wehrspohn, Föll Edts), Wiley-VCH 2003
- /2/ K. Tajima et al., J. Lightw. Techn. 22 (2004)1,
- /3/ B.J. Mangan et al., PDP 24, OFC2004, Los Angeles Feb.22-27