

このファイバの伝搬時間は、温度変化に感度ゼロ

シングルモード光ファイバは、回折限界のビーム品質を維持しながら短距離、長距離で光を柔軟にルーティングする必要があるところならどこでも、科学用途、産業用途に使える。幅を広げる必要はまったくない。高速データ伝送、過酷環境でのファイバセンシング、量子通信などの例がある。シングルモードファイバ(SMF)に依存するアクティブデバイスには、ファイバレーザや増幅器などがたくさんある。

同期の正確なタイミング信号を運ぶようなアプリケーションでは、たとえば、光時計では、温度などの環境的影響によるシングルモードファイバを伝搬するパルスタイミングの変動は望ましくない。温度変動に対する伝搬時間のこのような感度、遅延温度係数(TCD)は、ファイバの伸長や温度の関数としての屈折率の変動で起こるが、これは中実コアファイバで最も顕著である。また、中空コア・フォトニックバンドギャップファイバ(HC-PBGF)では著しく低減する。結果として、HC-PBGFタイプのファイバが多く重要なタイミングベース実験で使用される。しかし、HC-PBGFにさえ残留温度感度がある。

熱的効果の相殺

オプトエレクトロニクス・リサーチセンター(英サザンプトン大)の研究グループは、今回、さらなる努力の結果、熱感度ゼロ(TCD)の光ファイバを開発した⁽¹⁾。実際に、研究グループは、これだけでなく、負のTCDファイバの設計も理論的、実験的に証明した。

この成果は、HC-PBGF固有の光学特性、つまりモード群屈折率が減少するようにできるという特性を利用した。したがって、ファイバが温度で伸びると、ファイバ内の光の速度は増加する。正しく行われると、熱的効果とモード群屈折率とが相互に相殺され、まったく温度の影響を受けなくなる。

温度が上昇し、ガラスの屈折率が増加するにしたがい、ファイバのマイクロ構造もサイズの拡大し、マイクロ構造のグレーティング周期が変化する。通常の熱的感度を相殺するように最適化できる、少なくともある波長でできるのは後者の効果である(さらに、有限の波長範囲、数ナノメートルで、 $\pm 0.2\text{ps}/\text{km}/\text{K}$ で現実的なトレランスが与えられている場合)。

研究グループは、また、これらのファイバの感度を製造トレランスまで計算した。たとえば、7コアファイバ設計(これは後に実験で使用)では、計算によると、シングルモード動作で、ファイバコア径が1%変化すると、ゼロTCD波長シフトは約1nmとなるが、 $\pm 0.2\text{ps}/\text{km}/\text{K}$ 内のTCDには無視できる程度である(図1)。さらなる計算の示すところでは、TCDのごくわずかな変化は、7コアファイバを5cm径に巻くことによって生じた。

実験では、7コアファイバの2.8m長セクションを選んだ。空気充填率は0.965、13.6 μm コア径、9.7 μm 1/e²モードフィールド径、減衰10dB/km以下。遅延は、29、47、65、および82°Cで計測した。波長1531nmで、遅延は、温度変化の影響を受けなかった(TCD=0)、またTCDが $\pm 0.2\text{ps}/\text{km}/\text{K}$ 内だった

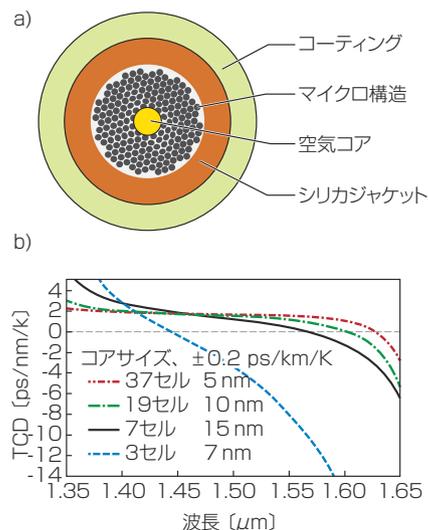


図1 HC-PBGFの構造は、空気コア、一定数セルの周囲構造、シリカジャケット、アクリルコーティングを含む(a)。(アクリルコーティングは、遅延熱係数、TCDのゼロポイントをわずかに長波長側に移す)。この特殊構造は、熱的効果のコンピュータモデルで使用された。1つのシミュレーションで、異なる数のセル(それぞれ3、7、19、37)を除去してコアを造り、多様なファイバ形状で波長の関数としてTCDが計算された(b)。 $\pm 0.2\text{ps}/\text{km}/\text{K}$ 内のTCDはゼロレンジと考えられ、TCDがこれらの制限内にある帯域幅が、個々のファイバ形状に対して示してある。これらの計算のすべてに対してHC-PBGF空気充填率は0.975であった。

時の光帯域は11nmだった。

そのファイバは他のHC-PBGFと比べて温度感度が10倍少ない、標準中実コアファイバと比べると、11nm帯域ではほぼ200倍感度が低い。加えて、2nm帯域では、新しいファイバは、標準中実コアシングルモードファイバと比べると熱感度は1000倍以上高い。

研究グループは、さらに2つのパラメータの最適化を目標にしている。1つは、TCD(遅延熱/温度係数)がゼロの波長を最大伝送波長と一致させること、2つ目にTCDが $\pm 0.2\text{ps}/\text{km}/\text{K}$ 内に入る帯域を広げるために分散スロープを下げることである。(John Wallace)

参考文献

(1) E. N. Fokoua et al., Optica (2017); <https://doi.org/10.1364/optica.4.000659>.