

時間領域分光法によるテラヘルツ波用中空光ファイバの伝搬特性解析 とリモート分光への応用

Analysis of transmission properties of terahertz hollow-optical fiber by using time-domain spectroscopy and application for remote spectroscopy

東北大医工¹, 東北大工² ○(M2)伊藤 公聖¹, 片桐 崇史², 松浦 祐司¹

Tohoku Univ., Graduate School of Biomedical Engineering¹, Graduate School of Engineering²

○Kosei Ito¹, Takashi Katagiri², Yuji Matsuura¹

E-mail: kosei.ito.t1@dc.tohoku.ac.jp

1. はじめに

近年, THz 時間領域分光法 (THz-TDS) は光源の高出力化・広帯域化により, 検出・分光技術が発展し, 注目を集めている. 我々のグループでは THz 波を伝送可能なフレキシブル伝送路として中空ファイバを開発し, 周波数領域型の THz 分光器によりその損失特性の評価を行ってきた[1]が TDS へファイバを応用するためにはその分散特性を予め把握しておく必要がある. そこで本報告では TDS により, 中空ファイバにおける THz パルスの伝搬特性解析を行った結果について述べるとともに実際にファイバを用いてリモート分光を行った結果について述べる.

2. 測定結果

測定系の概略図を Fig.1 に示す. 中空光ファイバ伝送損失の周波数特性を測定にはファイバは内径 3 mm, 長さ 40 cm の銀内装中空ファイバを用いた. ファイバからの出射光パルスのフーリエ変換結果より得られるパワースペクトルと, Fig.1 内に示したようにファイバなしの状態との比をとることにより伝送損失を計算した結果を Fig.2 に示す. 0.5 THz 以下の周波数において損失の上昇が見られたが, これは長波長の THz 波の焦点におけるスポットサイズ増大による結合損失の上昇であると考えられる. 一方, 1.0 THz 以上の領域においては損失のピークがいくつか現れている. この原因をモード間の干渉であると推測し, 伝搬モードを特定するために短時間フーリエ変換を適用し, モード分散による遅延を評価した. 結果は Fig.3 に示したように, THz 領域の金属中空光ファイバの直線偏波基本モードである TE₁₁ モードの理論値に沿った強度分布に加え, 1 THz 以上の領域において TM₁₁ モードの理論値に沿った強度分布も確認できた. そこで特定した 2 つのモードについて次式を用いてモード間干渉を考慮したパワーの時間平均 $\bar{P}$ を導出し, これらの合成モードの伝送損失を算出した.

$$\bar{P} = \frac{A_{TE11}^2 + A_{TM11}^2}{2} + A_{TE11} A_{TM11} \times \cos((\beta_{TE11} - \beta_{TM11})z)$$

ここで式中の A は各モードの出射光の振幅, β は位相定数を示している. その結果, Fig.2 にあわせて示すようにピークの位置が非常によく一致したことから, あらためて TE₁₁, TM₁₁ の二つのモードの伝搬を確認し, 本手法によればそれらのモード間干渉を評価可能であることがわかった.

最後にファイバを使用して 0.98 THz に吸収を持つことが知られているテオフィリン錠の透過スペクトルを測定した. 測定には厚さ 1 mm 程度まで薄く削った錠剤を使用し, 薬の後方に密着させるようにミラーを設置して, 錠剤を 2 度 THz 波が透過するようにした. 使用したファイバは内径 3 mm, 長さ 10 cm で錠剤の直前に配置し, ファイバから出射した THz 波は錠剤を往復した後, 再度ファイバを伝搬して検出される. 結果は Fig.4 に示すようにファイバを使用していないスペクトルと同じ高さの吸収ピークが確認できた.

3. まとめ

THz-TDS を用いることによって, 中空ファイバの THz パルス伝送特性について評価を行った. 伝搬モードは基本モードが TE₁₁ モード, 2 次モードが TM₁₁ モードであることがわかり 1 THz 以上の領域では干渉のピークが確認できた. またファイバを用いても明確な吸収ピークを取得できることが確認できた.

参考文献

[1] S. Sato, et al., J. Opt. Soc. Am. B **29**, 3006(2012)

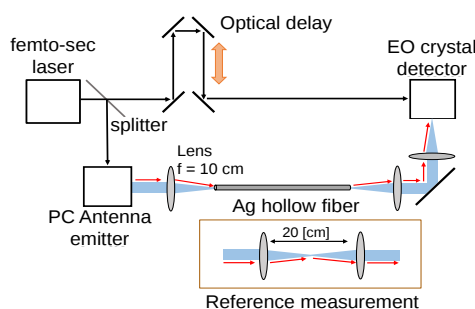


Fig. 1 Schematic of measurement setup

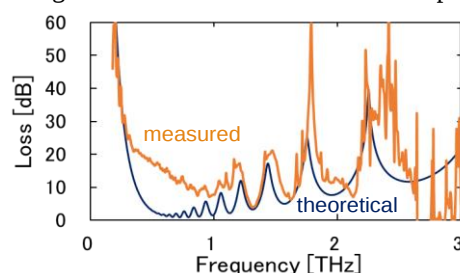


Fig. 2 Measured and theoretical loss spectra of hollow optical fibers

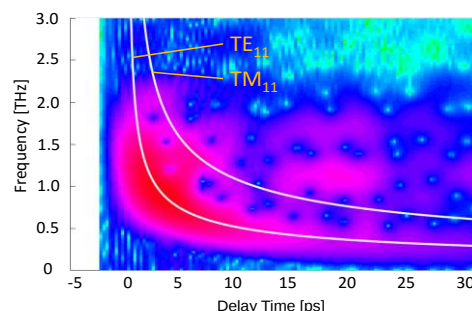


Fig. 3 Frequency spectra mapping by short-time Fourier transform.

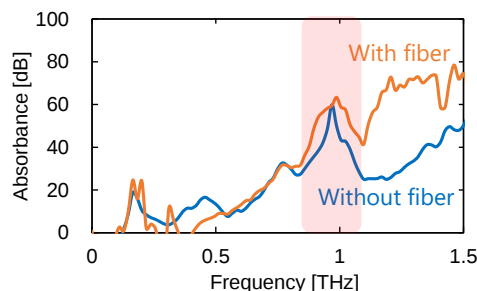


Fig. 4 Absorption spectra of theophylline