中赤外光による生体分光計測のための導波路型デバイスの検討

Waveguide devices for mid-infrared biosensing

東北大工 [1]，東北大医工 [2]

○菅原 崇弘 [1]，木野 彩子 [2]，松浦 祐司 [2]

Graduate School of Engineering[1], Graduate School of Biomedical Engineering[2], Tohoku University

°Takahiro Sugawara[1], Saiko Kino[2], Yuji Matsuura[2]

E-mail: takahiro.sugawara.t3@dc.tohoku.ac.jp

1. はじめに

近年，量子カスケードレーザなどの新しい中赤外光源が開発され，それらを血糖値測定などのバイオセンシングに応用する検討がなされている[1]．中赤外光を用いれば生体分子の基本振動に起因する強力な吸収を検出することが可能である．そこで本研究では中赤外域で透明な材料を用いた導波路型センシングデバイスについての検討を行ったので報告する．

2. 導波路の検討

パワー角度分布$p_0(\theta)$を持つ光線が長さ z，幅 2T の矩形導波路を伝搬した際の出射パワーは

$$p(z) = 2\pi \int_0^{\theta_{max}} p_0(\theta) \exp\left[\frac{1-R(\theta)}{T cot\theta} z\right] sin\theta d\theta$$

で与えられる．なお，$R(\theta)$は導波路界面におけるパワー反射率，θ_{max}は最大入射角である．これを用いて計算した i)CaF_2(n=1.28):幅 2.0 mm，長さ 24 mm，ii)ZnS(n=2.2):幅 1.5 mm，長さ 24 mm の導波路に FWHM5°の広がりを持つガウスビームを入射し，導波路上面に水を配置した場合の計算値を，FT-IR を用いて実測した実験値と合わせて図 1 に示す．なお，ZnS 導波路は入射端を 45°に加工した台形状プリズムとし，その端面に垂直に光を入射した．両導波路共に実測値と計算値がよく一致したことから，上記の幾何光学的手法により，その特性を解析できることを確認した．両導波路の波長 3 μm および 6 μm 付近の水の吸収ピークに着目すると，CaF_2 導波路は若干長波長側にピークが存在することが分かる．これはより低屈折率である CaF_2 導波路では，図 2 に示す水の複素屈折率$n - jk$の実部の変化の影響をより強く受けているためである．

図 3 は CaF_2 および ZnS 導波路によって検出した 8 μm 付近の吸収強度について，水の複素屈折率の変動を想定した際の強度変化の計算値を示す． ZnS 導波路ではほとんど虚部 k のみが損失に影響するのに対して，CaF_2 導波路では実部 n，虚部 k の両方が影響することが分かる．

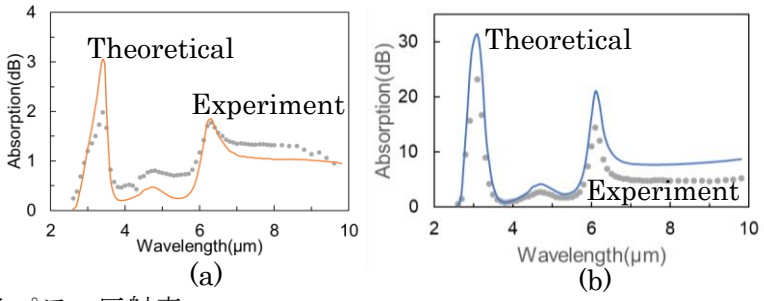

図 1 (a)CaF_2 導波路，(b)ZnS 導波路による水の吸収の計算値と実験値

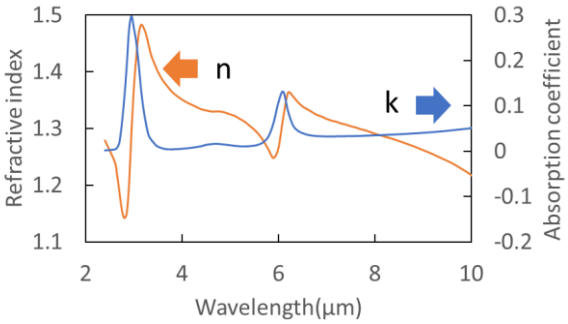

図 2 H_2O の複素屈折率の実部 n と虚部 k の挙動

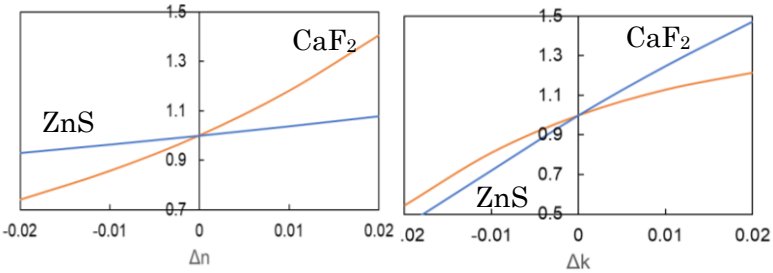

図 3 水の複素屈折率実部 n，虚部 k の変動による吸収強度変化

3. まとめ

中赤外域でのバイオセンシングに有効な CaF_2 および ZnS 導波路について幾何光学的手法により検討を行った．その結果，低屈折率の CaF_2 導波路では，これまではほとんど着目されることがなかった，サンプルの屈折率実部の変動を高感度に検出可能なことが分かり，従来の吸収係数のみの測定とあわせて用いることにより，更に高感度な分析が可能になる．

参考文献

[1] K. Yoshioka, S. Kino, Y. Matsuura, Proc. SPIE 10488, 10488-12 (2018)