

光アンテナを用いた赤外屈折率測定法: 原理と理論

Infrared Refractive Index Measurement Using Nano-antenna Resonance: Principle and Theory

○各務 響^{1*}, 雨宮 智宏^{1,2}, 山崎 理司¹, 増田 佳祐¹, 顧 之琛¹, 西山 伸彦^{1,2}, 荒井 滋久^{1,2}

○H. Kagami¹, T. Amemiya^{1,2}, S. Yamasaki¹, K. Masuda¹, Z. Gu¹, N. Nishiyama^{1,2}, and S. Arai^{1,2}

東京工業大学 工学院 電気電子系¹, 科学技術創成研究院 未来産業技術研究所²

¹ Department of Electrical and Electronic Engineering, Tokyo Institute of Technology

² Institute of Innovative Research (IIR), Tokyo Institute of Technology

E-mail: *kagami.h.aa@m.titech.ac.jp

1. はじめに

「赤外屈折率」は infrared photonics [1, 2] をはじめとした様々な分野に必須のパラメータであるが、現在までに中近赤外領域 (900 nm - 10 μm 程度) における精度の高い屈折率測定法は存在しない。本研究では、プラズモン光アンテナの共振を用いて、微量の液状サンプルの複素屈折率を広帯域かつ高精度 ($< 5 \times 10^{-3}$) に測定する手法を提案したのでご報告する。

2. 提案する赤外屈折率測定法の原理と理論

まず、中近赤外領域で透明な BaF₂ 基板上に、特定の周波数で共振する光アンテナアレイを複数個配置したチップを用意する (Fig. 1)。本チップを用いた赤外屈折率測定法は以下のとおりである。

<1> 顕微赤外分光を用いて、光アンテナの共振周波数 (= 透過強度が最小となる周波数) を求め、その結果から光アンテナの特性曲線 (共振周波数 vs アンテナ周囲の屈折率) を計算する (Fig. 2(a))。

<2> チップ上に液状サンプルを滴下し、同様の測定を行うことで光アンテナの共振周波数を求め、先ほどの特性曲線と合わせることで特定の周波数における屈折率を得る (Fig. 2(b))。

<3> 以上の操作を全ての光アンテナアレイに対して行うことで、最終的に対象サンプルの屈折率を広帯域に得ることが可能となる (Fig. 2(c))。

上記のうち、手順<1>において、光アンテナの特性曲線を近似解で求めることが必須となる。そこで本研究では、特性曲線の導出を行った。まず有限要素法により BaF₂ 基板上の光アンテナの透過特性を解析することで、正確な共振周波数を求めた。解析に用いた光アンテナの形状は Fig. 1 に示すとおりであり、 x を 200-600 nm の範囲で変化させた (BaF₂ の屈折率は文献値[3]を用いた)。解析結果を Fig. 3(a) に示す。ここで、縦軸は光アンテナ周囲の屈折率を表しており、滴下するサンプルの屈折率と同義である。

手順<1>では、 $n=1$ における共振周波数 ω_1 のみで、Fig. 3(a) に示すプロット点の全てを通るような近似解を求めることが必須となる。近似解を

$$\omega^2 = 1/(f_1(\omega_1)n^2 + f_2(\omega_1)) \cdots \text{式(1)}$$

で与えたときの、有限要素法で得られた結果との誤差を Fig. 3(b) に示す。これにより、有限要素法の結果と比較して誤差 0.7% 以内の特性曲線を得られること

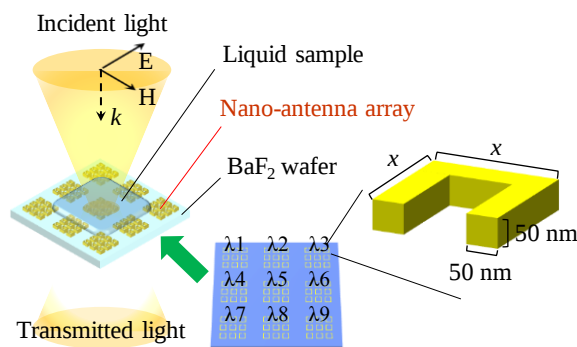


Fig. 1. 光アンテナを用いた赤外屈折率測定法の概要

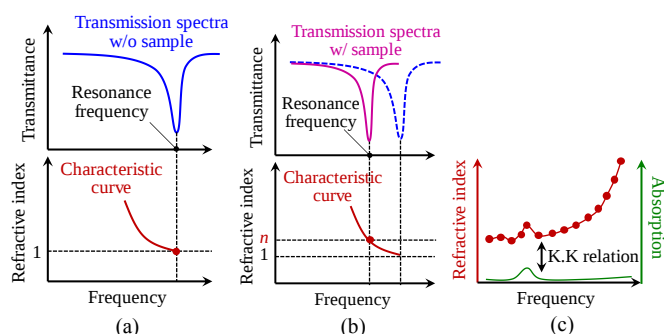


Fig. 2. 光アンテナを用いた赤外屈折率測定法の手順

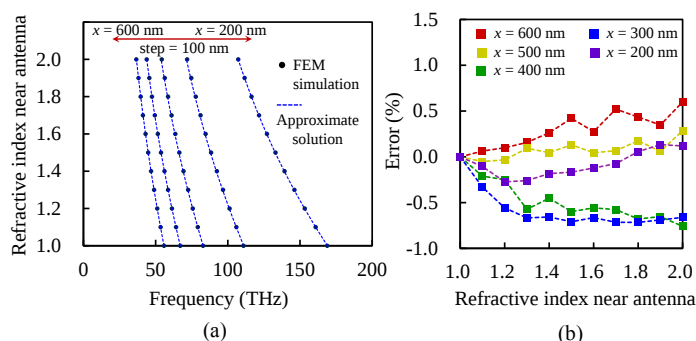


Fig. 3. (a) 光アンテナの共振周波数と屈折率 (b) 特性曲線との誤差

が分かり、本手法が有効であることが示された。

式(1)の特性曲線を用いた、本測定法によるサンプルの評価例については、直後の発表にてご報告する。

謝辞

本研究は、JST CREST JPMJCR15N6, JSPS 科研費 (#15H05763, #16H06082, #17H03247) の援助により行われた。

参考文献

- [1] R. Soref et al., *Nature Photon.* **4**, 495 (2010).
- [2] B. Jalali, *Nature Photon.* **4**, 506 (2010).
- [3] H.H. Li, *J. Phys. Chem. Ref. Data* **9**, 161 (1980).