

二波長で動作する高屈折率メタ構造による高感度屈折率検出

Highly sensitive sensor for refractive index with high-contrast metastructure operating at dual-wavelength

徳島大理工¹, 徳島大 pLED 研究所² ○川村 武寛¹, 高島 祐介¹, 原口 雅宣^{1,2}, 直井 美貴^{1,2},
Faculty of Sci. and Tech., Tokushima Univ.¹, Institute of Post-LED Photonics, Tokushima Univ.²,
○Takehiro Kawamura¹, Yuusuke Takashima¹, Masanobu Haraguchi^{1,2}, Yoshiki Naoi^{1,2},
E-mail: t.kawamura@ee.tokushima-u.ac.jp

光学式の屈折率センサーは電気配線が不要かつ迅速な応答の利点から、バイオアッセイやガス検出等に使用されている。これまでに我々はメタ周期構造を用いた光学式の屈折率センサーを報告している[1]。今回、メタ周期構造による光制御[2]、二波長による屈折率検出[3]をヒントとして、TiO₂-メタ周期構造を用いて、光源の強度変動やバックグラウンドノイズの影響が少ない高感度屈折率センサーの検討を行ったので報告する。

Figure 1 に提案した構造を示す。高屈折率メタ構造には周期との屈折率差により自由空間とは異なる光の状態(固有モード)が存在する。入射光と固有モードの波数の一致により、固有モードが励起され、基板とメタ構造間の界面での固有モードの干渉により反射、透過が決定する[4]。界面での固有モードの位相は構造寸法、各固有モードの伝搬定数の差分に強く依存する[4]。伝搬定数の差分を調節することで2つの反射率のピークやディップが期待できる。周囲の屈折率 n_s が変化すると、固有モードの位相が影響を受けるため、 n_s の変化により、固有モード干渉を制御できる[1]。したがって、 n_s の変化は、メタ構造を介した反射および透過強度として検出できる。

上記の指針に基づき、Figure 2 に有限差分時間領域法を用いた電磁界分布解析により計算した本構造の p 偏光に対する反射特性を示す。構造は、紫外、可視域で二波長による反射が生じるよう周期 $\Lambda = 215$ nm、構造幅 $W = 165$ nm、構造の高さ $h = 160$ nm とし、メタ構造の材料は高屈折率の TiO₂ (屈折率 2.2~2.8) を想定している[5]。 $n_s = 1.0$ の時、波長 345 nm、403 nm において、それぞれ反射率ピーク (反射率約 98%、51%) が見られた。また、 n_s の増加に伴い、ピーク位置が長波長側はシフトしているが、短波長側はシフトしておらず、その結果、二波長を利用して、安定した高感度検出が可能である。

Figure 3 (a)、(b)に $n_s = 1.0$ と、 $n_s = 1.2$ の場合の波長 403 nm における電場分布を示す。 $n_s = 1.0$ の場合、(Fig.3(a))、基板とメタ構造間の界面において、格子部と空隙部の電界が逆位相になっている。そのため、透過側の平均電界がキャンセルし、共鳴反射が生じると考えられる。 $n_s = 1.2$ の場合、(Fig. 3 (b))、格子部と空隙部の電界が同位相になっており、光学応答が劇的に変化していることが分かる。以上のように二波長の TiO₂-メタ周期構造を利用し、高感度な屈折率センサーが実現できることを示した。

謝辞

本研究の一部は、JSAPS 科研費 JP18K04238 および LED 総合プラットフォーム事業支援によって行われた。

参考文献 [1] Y. Takashima *et al.*, *Sensors* **20**,4444(2020). [2] Y. Takashima *et al.*, *Sens.ActuatorsB* **255**,1711(2018). [3] Y.Takashima *et al.*, *IEEE Sensors* **19**, 6147(2019). [4] C. J. Chang-Hasnain and W. Yang, *Adv. Opt.Photonics* **4**, 379 (2012). [5] S . Sarkar *et al.*, *ACS Appl. Mater Interfaces*, **11** , 13752 (2019)

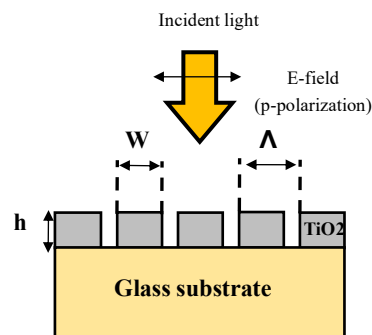


Fig.1 Schematic of high-contrast metastructure

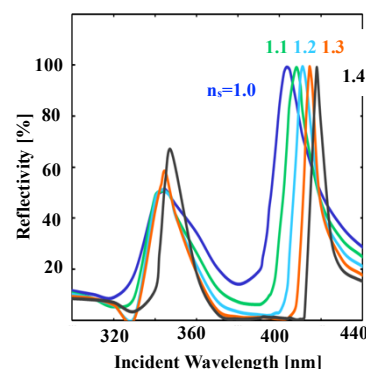


Fig.2 Dependence of reflection spectra of metastructure on n_s

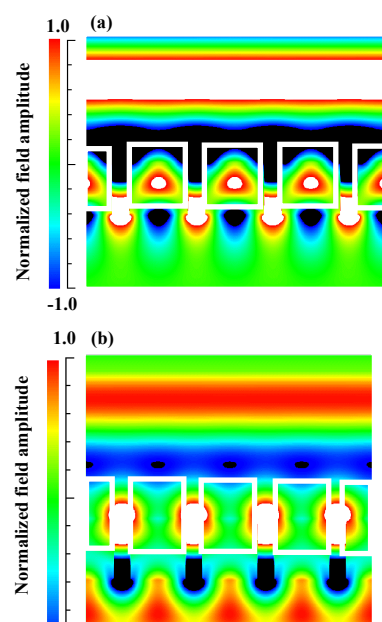


Fig.3 E-field distribution of metastructure with (a) $n_s=1.0$, (b) $n_s=1.2$