

サブ波長周期構造/導波構造を用いた垂直光入射系屈折率検知 Refractive index detection with normal incident light system by using subwavelength grating/waveguide structure

徳島大学¹, 日本学術振興会特別研究員² ○草葉 啓太¹, 高島 祐介^{1,2},
原口 雅宣¹, 直井 美貴¹

Tokushima Univ.¹, JSPS², ○Keita Kusaba¹, Yuusuke Takashima^{1,2},
Masanobu Haraguchi¹, Yoshiki Naoi¹
E-mail: k-kusaba@ee.tokushima-u.ac.jp

高感度な屈折率検出は、バイオセンサーや DNA 検知等の多岐の分野での利用が期待されている。複数の波長帯による屈折率検出が同時に可能であれば、さらなる高感度化、高信頼性が期待できる¹⁾。しかし、現在の高感度な屈折率検出には斜入射配置が要求されることが多く、素子のサイズの大型化が問題である。本研究では、斜入射配置を用いず、垂直入射系での二波長帯の屈折率検出を目的とした。前回の発表は入射光の波長より短い構造周期を持つサブ波長周期構造(Subwavelength Grating : SWG)と導波構造を組み合わせた構造のシミュレーションによる検討²⁾のみだったのに対し、今回は実験的に検討したので報告する。

Figure 1 に SWG と導波構造の複合構造の模式図を示す。 Λ , s , t , H_1 , H_2 はそれぞれ格子周期、構造幅、格子高さ、導波構造のクラッド層の厚さ、コア層の厚さである。SWG 中には周期的屈折率分布による固有モードが存在し、SWG の透過光は構造中のモードの重ね合わせにより決定される。モード同士が逆位相でお互いに打ち消すような波長に対しては、その干渉により、透過光強度は非常に小さくなり、大部分の光が反射される^{3,4)}。SWG 内のモードの次数・位相などは、格子と周囲屈折率に大きく依存するので、周囲屈折率の検知が可能である。一方、導波構造においては、入射光と導波モードの位相が整合する場合、導波構造内に光が閉じ込められる光導波路共鳴(Guided Mode Resonance : GMR)が発生する。そのため GMR 発生波長では透過光強度は非常に小さくなる⁵⁾。導波モードの状態は導波構造上の周期構造によっても変化するため、導波構造においても周期構造の周囲屈折率検知が可能である。

本研究では検知波長帯の中心波長を 450nm と 500nm とし、構造設計を行った。SWG 中の波数分散関係²⁾を用いて入射波長 $\lambda=450\text{nm}$ においてモード同士が逆位相で打ち消し合うよう、導波構造では、 $\lambda=500\text{nm}$ において入射光と導波モードの位相が整合し⁴⁾、GMR が発生するように Fig.1 のように設計した。また、周囲屈折率は空気と水の条件で行った。設計した構造に、構造に対して垂直 (Fig.1 中の x 方向) な電界 (p 偏光) の平面波を垂直入射した場合の電磁界の計算を有限差分時間領域(Finite-difference time-domain : FDTD)法を用いて行った。Fig.2 に構造周囲が空気(実線)と水(点線)の場合の構造透過率の入射波長依存性を示す。水中の場合、構造透過率が二つのディップ両者とも空気中の場合と比較して 10nm 長波側にシフトする結果が得られた。

設計した構造を電子線リソグラフィ等を用いて作製した。作製した構造に p 偏光の光を垂直に入射し、構造部の透過光を基板部の透過光で規格化した透過光を測定した。測定した空気中(実線)と水中(点線)の透過スペクトルを Fig.3 に示す。Fig.3 より空気中では中心波長 449 nm と 470nm の二波長帯で透過率が減少し、水中では 476nm と 522nm で透過率が減少した。これにより、水の屈折率を検知することができた。一方、位相整合条件から予測された SWG 内の固有モード間の位相が逆位相になる波長(460nm)と実験値はほぼ一致しているのに対し、GMR の発生波長における位相整合条件から予測された波長(505nm)と実験値に差が生じている。この点について周期構造の形状依存の点から検討した。作製した周期構造が矩形ではなく台形であることから FDTD 法を用いて周期構造が台形の場合の計算を行ったところ、GMR の透過率の減少波長帯のみ短波側にシフトすることが確認でき、実験と一致する傾向が得られた。また、得られた透過光強度のディップの深さは、FDTD 計算で予想された値よりも浅い。この原因として二つの要因が考えられる。一つ目は FDTD では構造に平面波を垂直入射したが、実験では対物レンズで光を対物レンズで絞り構造に入射しているため理論で考えた波数とは異なる波数が発生した事、二つ目は周期構造作製時の構造寸法のゆらぎの為だと考えている。

謝辞

本研究の一部は JSPS 科研費 JP16J11232 の助成を受けたものです。

参考文献

- 1) Xiangde Liu *et al.*, Am. J. Respir. Cell. Mol. Biol., **33**, 121 (2005).
- 2) K. Kusaba *et al.*, (64th Spring Meet., 2017); Japan Society of Applied Physics and Related Societies, 16p-P13-9 [in Japanese].
- 3) V.Karagodsky *et al.*, Opt. Express., **18**, 16973 (2010).
- 4) Y. Takashima *et al.*, Sens. Actuators B **255**, 1711 (2018).
- 5) Chang-Hyun Park *et al.*, Opt. Express., **20**, 23769 (2012).

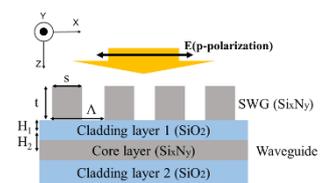


Fig.1 Schematic cross-sectional profile of SWG/Waveguide structure

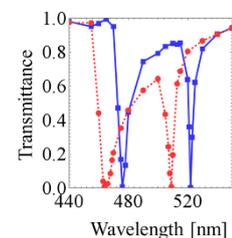


Fig.2 Incident wavelength dependence of the transmittance calculated by FDTD

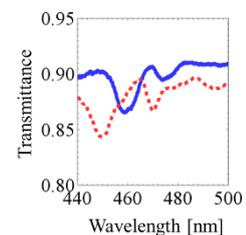


Fig.3 Incident wavelength dependence of the transmittance