

サブ波長構造中の固有モード波数分散関係を用いた屈折率検出の高感度化

Improvement of sensitivity for refractive index detection

using dispersion relation of eigenmode within sub wavelength structure

徳島大学¹, 日本学術振興会特別研究員² ○高島祐介^{1,2}, 原口雅宜¹, 直井美貴¹Tokushima University¹, JSPS Research Fellow²○Yuusuke Takashima^{1,2}, Masanobu Haraguchi¹ and Yoshiki Naoi¹

E-mail:takashima@ee.tokushima-u.ac.jp

周期構造中にはその屈折率分布から固有モードが存在する。構造周期が入射波長以下のサブ波長構造(Sub Wavelength structure: SWS)中では、固有モードと入射光がある条件で相互作用し、回折現象とは異なる光伝搬が生じる。SWS 透過光は存在する固有モード同士の重ね合わせによって表現される[1]。基板と SWS の境界面において固有モード同士が逆位相で互いに打ち消し合う場合、基板側への透過光強度は非常に小さくなる。固有モードの位相は周囲屈折率(n_s)に依存するため透過率の測定により周囲屈折率検知が可能である。我々はこれまでに固有モードの位相制御により集積化に有利な任意の屈折率検知を報告している[2]。今回、固有モードの観点から高感度な屈折率検知に向けた構造設計指針を検討したので報告する。

モード位相の変化は構造と空隙部の屈折率差が n_s により変化する現象に基づく。位相はモードの波数によって決まるため、 n_s に対する波数の変化を敏感にすれば屈折率検知の高感度化が可能であると考えた。この考えに基づき感度と固有モード位相の関係について調査した。今回用いた SWS 構造の概略を Fig.1 に示す。SWS の高屈折率材料は Si_3N_4 を選択し、格子高さ $H = 150\text{nm}$ とした。周期 Λ は 231nm (構造①)と 214nm (構造②)の二つを仮定し、充填率は $W/\Lambda=0.7$ 、入射波長は 400nm で p 偏光(電界方向は Fig.1 に図示)である。Fig. 2 に 有限時間領域差分法による垂直入射時の SWS 透過率の n_s 依存性を示す。構造①の場合、 $n_s = 1.35$ 付近で、構造②の場合は $n_s = 1.8$ 付近で透過率が急激に減少している。その単位 n_s あたりの透過率変化 $\Delta T\%/\Delta n_s=1040$ (構造①)と 7600 (構造②)程度であり、構造①に比べ②では非常に高感度な検知が可能である。この原因を固有モードの観点から調査するため、各透過率が最小になる時の基本モード波数の分散関係を Fig.3 に示す。 k_a 、 k_s はそれぞれ格子部および空隙部におけるモードの横方向波数である。また Fig.3 の直線部は電磁界の境界条件であり、分散曲線との交点において固有モードが入射光とエネルギーのやり取りをすることを意味している。Fig.3 に示すように構造①では分散曲線の傾きが緩やかな部分で交点を持つ。構造②の場合は構造①に比べ、曲線の傾きが大きい部分で交点を持ち、予測したとおりの n_s の変化で波数が大きく変化し、高感度化が実現できる。したがって、分散曲線が急激に変化するように設計を行うことで任意屈折率の高感度検知が可能である。

以上のように SWS 中における固有モードの分散関係を用いて検討を行い、高感度な屈折率検知を実現する SWS 構造設計の指針を示した。

参考文献[1] C. J. Chang-Hasnain and W. Yang, Adv. Opt. Photonics, 4 (2010) 16973. [2] 高島祐介, 他: 第 63 回応用物理学会春季学術講演会, 21p-P1-8 (2016).

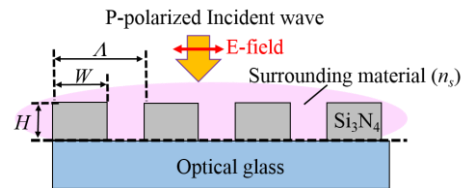
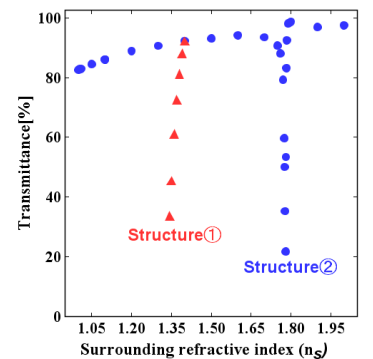
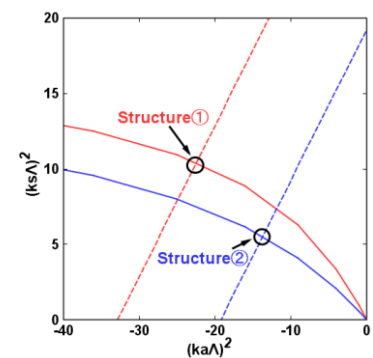


Fig.1 Model for refractive index detection proposed in this study

Fig.2 Dependence of the transmittance on n_s and Λ Fig.3 Dispersion of eigenmode wavevector k_a and k_s