

テラヘルツSPR導波路型センサのFDTD解析

清水, 圭介 / Shimizu, Keisuke

(出版者 / Publisher)

法政大学大学院理工学・工学研究科

(雑誌名 / Journal or Publication Title)

法政大学大学院紀要. 理工学・工学研究科編 / 法政大学大学院紀要. 理工学・工学研究科編

(巻 / Volume)

58

(開始ページ / Start Page)

1

(終了ページ / End Page)

2

(発行年 / Year)

2017-03-31

(URL)

<https://doi.org/10.15002/00014179>

テラヘルツ SPR 導波路型センサの FDTD 解析

FDTD ANALYSIS OF THE TERAHERTZ SPR WAVEGUIDE SENSOR

清水 圭介

Keisuke SHIMIZU

指導教員 柴山 純

法政大学大学院理工学研究科電気電子工学専攻修士課程

A surface plasmon resonance (SPR) waveguide sensor with indium antimonide (InSb) adopted for the sensing section is proposed in the terahertz region. We investigate the SPR response, showing an ability to detect a temperature change. It is found that the sensitivity is estimated to be about 7.5×10^{-3} THz/K.

Key Words : Terahertz wave, InSb, Surface plasmon resonance (SPR) sensor, FDTD method

1. はじめに

表面プラズモン共鳴 (SPR) 現象は主に光学センサ分野で応用が進められている。代表的なものに、クレッチマン配置を用いた SPR センサがあり、高感度かつリアルタイムに試料を測定することが可能である [1],[2]。しかしながら、クレッチマン型の SPR センサは集積化が困難である。そこで、集積化が可能な導波路型の SPR センサも検討されている [3],[4]。

光波帯の SPR センサは、タンパク質-DNA 相互作用や抗原・抗体反応の検出などに利用されている。他方、周波数 1 THz 付近に物質固有の吸収スペクトルが多く存在するため、THz 波を利用したセンサ素子の検討も始まっており [5]、SPR センサへの応用も期待される。

本稿では、InSb をセンシング部に用いた THz 帯における SPR 導波路型センサ [6],[7] を提案する。FDTD 法を用いて提案したセンサを解析し、温度変化に対する周波数応答を調べる。温度 280~320 K の範囲で 0.3 THz の周波数シフトが得られるため、本センサが水温の検知に利用できることを見出す。

2. 本論

センサの構造を図 1 に示す。コアを Si、基板を SiO₂ に選び、比誘電率をそれぞれ 3.4² と 1.94² とする。なお、Si と SiO₂ は THz 帯で僅かに損失性となるが、本稿では無損失の媒質として扱う。コア幅を $d = 50 \mu\text{m}$ とする。センシング部としてコアの片側に厚さ $t_1 = 5 \mu\text{m}$ 、長さ $l = 400 \mu\text{m}$ の InSb を付加する。その外側には試料として水を与える。InSb と水の誘電率を、共に温度特性を考慮した Drude モデル [8] と 2 極 Debye モデル [9] でそれぞれ表現する。これらの分散媒質が接する境界では、二種類の誘電率の平均値を取り込んだ分散モデルを用いて電界を計算する [10]。分散性媒

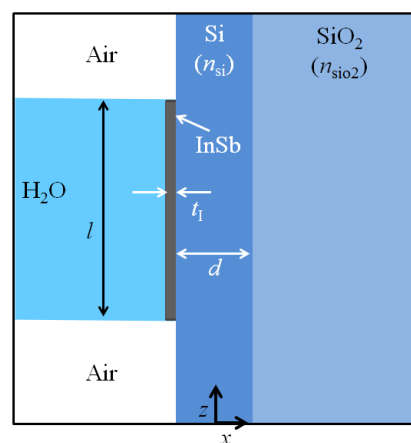


図 1 構造

質の解析には、台形則に基づく Recursive Convolution 法 [11] を適用する。入射波には TM 基本モードを用い、空間の刻み幅を $\Delta x = 0.2 \mu\text{m}$, $\Delta z = 1.0 \mu\text{m}$ に設定する。

図 2 に温度を 280~320 K に変化させた際のセンサの周波数特性を示す。280~310 K までの出力パワーは吸収ピークの周波数において -25 dB 以下になることがわかる。しかしながら 320 K では、応答が鈍感になる。ここで、一例として 300 K におけるピーク周波数 1.26 THz 及び、ピーク周波数から離れた周波数 1.5 THz での界分布を図 3 に示す。周波数 1.26 THz では 1.5 THz に比べ入力された THz 波が急速にパワーを失う様子が観察される。これはピーク周波数付近で強いプラズモン共鳴が生じ、損失が増大するためである。

図 2 からは温度が高くなるにつれてピーク周波数が高周波側にシフトすることもわかる。そこで図 4 にピーク周波数の温度特性を示す。図より、温度の上昇に伴

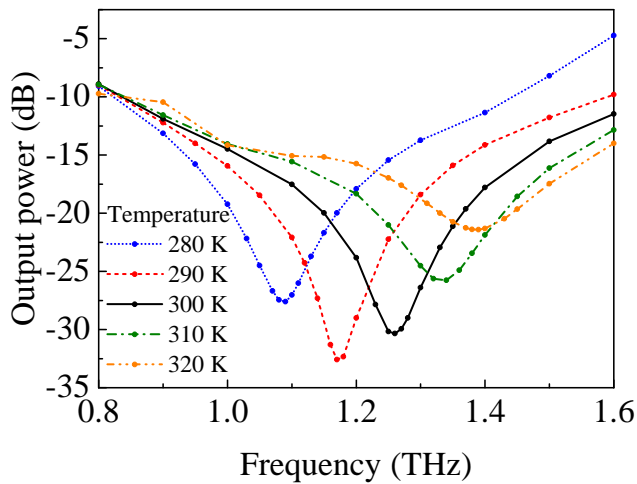


図 2 周波数応答

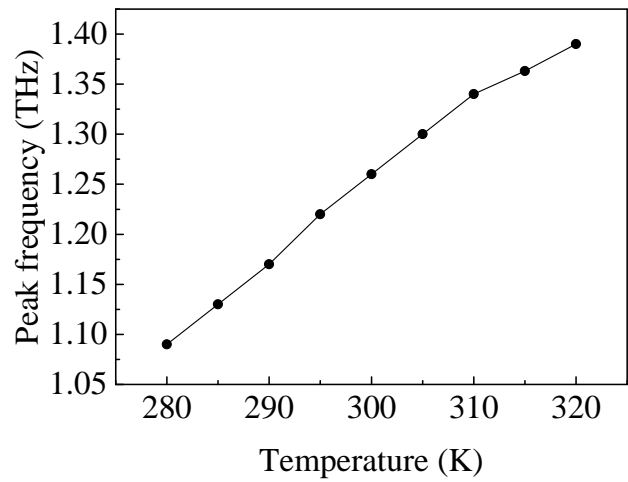
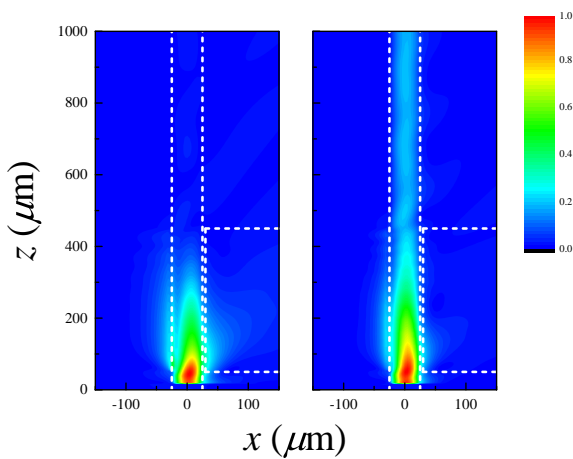


図 4 温度に対するピーク周波数



(a) 1.26 THz (b) 1.5 THz

図 3 界分布

いピーク周波数の高くなることわかる。具体的には、温度 280~320 K の範囲で 0.3 THz の周波数シフトが得られる。この変化から本センサの感度は 7.5×10^{-3} THz/K と見積もられる。ピーク周波数から試料の温度がわかるため温度センシングの可能性が示される。

3. 結び

テラヘルツ帯における導波路型 SPR センサを提案した。FDTD 法を用いて、温度を変化させた際の出カパワーの周波数特性を評価した。温度 280~320 K の範囲で 0.3 THz の周波数シフトが得られるため、本センサが温度センサに利用できることを見出した。

参考文献

- 1) J. Homola, S.S. Yee, and G. Gauglitz, *Sens. Actuators B*, vol.54, no.1, pp.3-15, Jan. 1999.
- 2) L.M. Zhang and D. Uttamchandani, *Electron. Lett.*, vol.24, no.23, pp.1469-1470, Nov. 1988.
- 3) R.D. Harris and J.S. Wilkinson, *Sens. Actuators B*, vol.29, pp.261-267, Oct. 1995.
- 4) J. Shibayama, *IEEE Photon. Technol. Lett.*, vol.22, no.9, pp.643-645, May 2010.
- 5) M. Tonouchi, *Nat. Photon.*, vol.1, pp.97-105, Feb. 2007.
- 6) J. Shibayama, K. Shimizu, J. Yamauchi, and H. Nakano, *J. Lightw. Technol.*, vol.34, no.10, pp.2518-2525, May 2016.
- 7) 柴山 純, 清水圭介, 山内潤治, 中野久松, 信学論 (C), vol.J100-C, no.5, May 2017. 印刷中
- 8) Q. Wang, Q. Tang, D. Zhang, Z. Wang, and Y. Huang, *Superlattice Microst.*, vol.75, pp.955-961, Nov. 2014.
- 9) H.J. Liebe, G.A. Hufford, and T. Manabe, *Int. J. Infrared Millimeter Waves*, vol.12, no.7, pp.659-675, April 1991.
- 10) 柴山 純, 清水圭介, 山内潤治, 中野久松, 信学論 (C), vol.J98-C, no.5, pp.135-137, May 2015.
- 11) J. Shibayama, R. Ando, A. Nomura, J. Yamauchi, and H. Nakano, *IEEE Photon. Technol. Lett.*, vol.21, no.2, pp.100-102, Jan. 2009.