

テラヘルツ帯におけるInSbコート誘電体円柱配列の解析

高橋, 澄玲 / TAKAHASHI, Sumire

(出版者 / Publisher)

法政大学大学院理工学研究科

(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

(巻 / Volume)

61

(開始ページ / Start Page)

1

(終了ページ / End Page)

2

(発行年 / Year)

2020-03-24

(URL)

<https://doi.org/10.15002/00022847>

テラヘルツ帯における InSb コート誘電体円柱配列の解析

ANALYSIS OF AN INSB-COATED DIELECTRIC CYLINDER ARRAY IN THE TERAHERTZ REGIME

高橋澄玲

Sumire TAKAHASHI

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

We analyze a periodic array of the InSb-coated dielectric cylinders on a substrate at THz frequencies. The transmission characteristics of an infinite periodic array are investigated not only at normal incidence but also at oblique incidence. It is shown, at the transmission dips, that the incident field is coupled to the substrate due to the guided-mode resonance. Furthermore, it is shown that the field propagating from the free space is coupled to the eigenmode of the substrate, leading to the use of a grating coupler at THz frequencies.

Key Words : Guided-mode resonance (GMR), Surface plasmon polariton (SPP), Terahertz (THz) wave, Finite-difference time-domain (FDTD) method

1. はじめに

光波帯において、金属と誘電体の境界に表面プラズモンポラリトン (SPP) の励起することが知られており、様々なデバイスへの応用が検討されている。文献 [1] では、金属で覆われた誘電体円柱配列に関する電磁界散乱の問題が検討されている。しかし、テラヘルツ (THz) 帯では電磁界の金属への界の染み込みが極めて少ないため、SPP が励起されない。他方、THz 帯において負の誘電率を有する半導体として、アンチモン化インジウム (InSb) [2]-[5] などが挙げられる。

本稿では、InSb で覆われた誘電体円柱配列の THz 帯での透過特性を調査する [6]-[11]。

2. 本論

(1) 構造と計算手法

解析する構造を図 1 に示す。x 方向に対する無限周期構造の 1 周期のみを示している ($\Lambda = 168 \mu\text{m}$)。誘電体円柱と基板を SiO_2 に選び、比誘電率を 1.94^2 とする。なお、 SiO_2 は THz 帯では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。誘電体円柱を InSb でコーティングし、外径を $r_1 = 28 \mu\text{m}$ 、内径を $r_2 = 14 \mu\text{m}$ に選ぶ。基板厚を $t = 140 \mu\text{m}$ とする。背景の屈折率を n_B と定義する。分散性媒質となる InSb の比誘電率を Drude モデル [2] で表現し、温度を 300 K に選ぶ。解析には Split-field 法に周期境界条件を適用した FDTD 法 [12] を使用し、1 周期のみを取り扱う。入射波には横方向に一樣な振幅をもつ E_x 偏波のパルス波を用い、+z 方向に励振する。空間の刻み幅を $\Delta x = \Delta z = 0.7 \mu\text{m}$ とする。

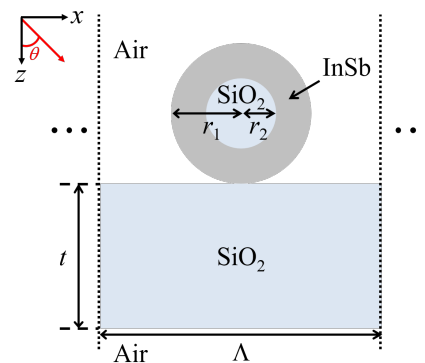


図 1 構造

(2) 透過特性

図 2 に温度 300 K, $n_B = 1.0$ における透過特性を示す。入射角を $\theta = 0, 10, 20^\circ$ と選択している。本構造では円柱により発生する空間高調波の一つが基板の導波モードの伝搬定数と同期する場合に、界は導波モードとして伝搬する。そのときの位相整合条件は以下の式で表される。

$$k \sin \theta = \beta_0 + q \frac{2\pi}{\Lambda} \quad (q = 0, \pm 1, \pm 2, \dots) \quad (1)$$

ここで、 β_0 は基板内のモードの伝搬定数に近い値、 q は回折次数、 k は自由空間波数である。図より、透過ディップに帯域幅の広狭のあることがわかる。例えば、 $\theta = 20^\circ$ において、0.89, 1.23 THz での狭いディップは純粋な導波モード共鳴により生じる。また、図示はしないが、1.11, 1.30 THz の広いディップでは、InSb の周辺に表面プラズモン共鳴 (SPR) が生じることを確認している。図 3 に導波モード共鳴での界分布 (H_y 成分) を示す。(a) は

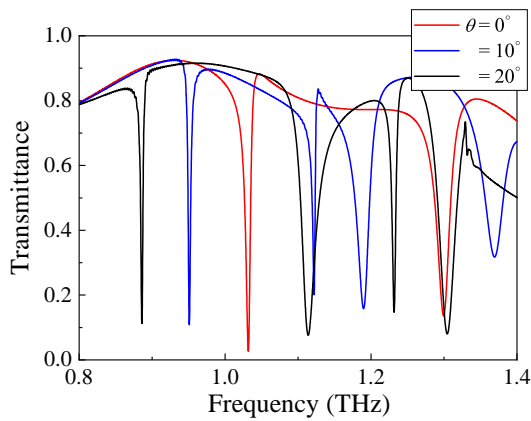


図2 透過特性 ($n_B = 1.0$)

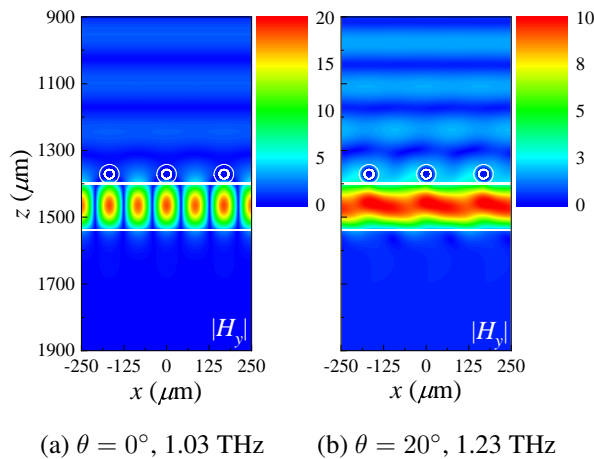


図3 界分布

$\theta = 0^\circ$ での 1.03 THz, (b) は $\theta = 20^\circ$ での 1.23 THz での結果である。図 3(a) では、垂直入射された平面波が基板の導波モード共鳴に結合し、 $\pm x$ 方向に伝搬することから x 方向に定在波が観察される。このとき、式 (1) において $q = \mp 1$ で位相整合条件が成立する。図 3(b) で x 方向に共振の見られない導波モード共鳴が生じている。界は $+x$ 方向に伝搬しており、式 (1) では $q = -1$ で整合条件が成立する。従って、本周期構造は空間の THz 波を導波路に結合させるグレーティングカップラとして動作し、グレーティングへの入射角度に応じて特定の周波数のテラヘルツ波を結合させることが可能である。

3. 結び

InSb で覆われた誘電体円柱配列の THz 帯での透過特性を調査した。導波モード共鳴が生じている場合の界分布を示し、グレーティングカップラとしての利用可能性を議論した。

参考文献

- 1) K. Yasumoto, V. Jandieri, P. Meng, and Y. Liu, "Scattering of light by periodic array of metal-coated nanocylinders on dielectric slab," *Int. Sym. Antennas Propag.*, 3B2-1, pp. 572-573, 2016.
- 2) Q. Wang, Q. Tang, D. Zhang, Z. Wang, and Y. Huang, "Tunable terahertz spectral filter based on temperature controlled subwavelength InSb grating," *Superlattice Microst.*, vol. 75, pp. 955-961, 2014.
- 3) 柴山, 高橋, 吉原, 山内, 中野, "TE 透過/TM 除去 THz 導波路型偏光子の解析," 信学ソ大, C-15-1, 2018.
- 4) 高橋, 柴山, 山内, 中野, "テラヘルツ帯における TE 透過/TM 除去導波路型偏光子の解析," 信学技報, EST2019-98, vol. 119, no. 407, pp. 97-102, 2020.
- 5) 高橋, 柴山, 山内, 中野, "コアの両側に半導体層を付加した TE 透過/TM 除去 THz 導波路型偏光子の解析," 信学総大, 2020.
- 6) 柴山, 高橋, 山内, 中野, "テラヘルツ帯における InSb コート誘電体円柱の FDTD 解析," 信学総大, C-1-3, 2018.
- 7) J. Shibayama, S. Takahashi, J. Yamauchi, and H. Nakano, "Analysis of a periodic array consisting of InSb-coated cylinders in the THz region," in *Proc. Progress in Electromagnetic Research Symposium*, Toyama, p. 615, Toyama, 2018.
- 8) 柴山, 高橋, 山内, 中野, "テラヘルツ帯における InSb コート誘電体円柱に対する傾斜入射特性," 信学総大, C-1-5, 2019.
- 9) J. Shibayama, S. Takahashi, J. Yamauchi, and H. Nakano, "FDTD analysis of an InSb-coated dielectric cylinder array," *Asia-Pacific Conf. Antennas Propag.*, 6AM2-A-4, pp. 348-349, Incheon, 2019.
- 10) 柴山, 高橋, 山内, 中野, "テラヘルツ帯での InSb コート誘電体円柱配列の周波数依存型 FDTD 解析," 信学ソ大, CS-1-7, 2019.
- 11) 柴山, 黒田, 高橋, 中野 (純), 山内, 中野 (久), "テラヘルツ帯における InSb コート誘電体球配列の FDTD 解析," 信学総大, 2020.
- 12) A. Taflove and S. C. Hagness, *Computational Electrodynamics: The Finite-Difference Time-Domain Method*, Norwood, MA: Artech House, 2005.