法政大学学術機関リポジトリ

HOSEI UNIVERSITY REPOSITORY

PDF issue: 2024-12-27

テラヘルツ帯におけるInSbコート誘電体円柱 配列の解析

髙橋, 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

髙橋澄玲

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 ($\Lambda = 168 \mu$ m). 誘電 体円柱と基板を SiO₂ に選び,比誘電率を 1.94² とする. なお, SiO₂ 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 $r_1 = 28 \mu$ m,内径を $r_2 = 14 \mu$ m に 選ぶ. 基板厚を $t = 140 \mu$ m とする. 背景の屈折率を $n_{\rm B}$ 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 向に一様な振幅をもつ 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 $\Delta x = \Delta z = 0.7 \mu$ m とする.



(2) 透過特性

図2に温度300 K, $n_{\rm B} = 1.0$ 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.

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

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_u 成分) を示す. (a) は



 $\theta = 0^{\circ}$ 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, ± 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, グレーティングカプラとしての利用可 能性を議論した.

- 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.
- 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, 髙橋, 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.
- 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.
- 等山, 髙橋, 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.
- 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, 髙橋, 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.
- 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.
- 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.
- 柴山, 黒田, 髙橋, 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.
- A. Taflove and S. C. Hagness, *Computational Electrodynamics: The Finite-Difference Time-Domain Method*, Norwood, MA: Artech House, 2005.