

無反射構造を付加したTHz帯InSbパッチフィルタの3次元解析

YAMAZAKI, Takaya / 山崎, 天弥

(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)

59

(開始ページ / Start Page)

1

(終了ページ / End Page)

2

(発行年 / Year)

2018-03-31

(URL)

<https://doi.org/10.15002/00021578>

無反射構造を付加した THz 帯 InSb パッチフィルタの 3次元解析

3D ANALYSIS OF INSB SQUARE PATCH FILTERS WITH AR STRUCTURES IN THE THZ REGION

山崎 天弥

Takaya YAMAZAKI

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 investigate the transmission characteristics of THz filters with InSb square patches using the three-dimensional finite-difference time-domain method. To reduce the Fabry-Perot (FP) resonance, an anti-reflection coating (ARC) is introduced into the filter. It is shown that the use of a double-layer ARC reduces the FP resonance in the vicinity of the resonance frequency. Furthermore, we investigate the filters with a moth-eye structure. It is found that the FP resonance is appreciably reduced over a wide frequency range, compared to the filter with the double-layer ARC.

Key Words : Finite-difference time-domain (FDTD) method, terahertz (THz) filter, indium antimonide (InSb), anti-reflection coating (ARC), moth-eye structure

1. はじめに

THz 帯において、半導体 InSb による局在表面プラズモン共鳴 (LSPR) を利用した種々のデバイスが提案されている [1]-[3]. 文献 [1] では InSb の近傍に励起される LSPR を利用した InSb グレーティングフィルタが検討されている. しかし, 基板の FR4 を無損失として扱っており, また有限基板内で発生するファブリ・ペロー (FP) 共振を考慮していなかった. 他方, 我々は, 損失の大きい FR4 の代わりに損失の無視できる材料を基板とし, FP 共振を低減させるためにモスアイ構造 [4] を付加することで透過特性を改善した [5]. しかし, これまでの研究では 2次元構造のみを扱っており, 3次元構造は未検討であった. 本稿では, 無反射 (AR) 構造を付加した InSb パッチフィルタの 3次元 FDTD 解析を行う.

2. 本論

図 1 に構造を示す. x と y 方向に周期境界条件を課し, 無限周期の 1 周期のみ ($\Lambda = 40 \mu\text{m}$) を FDTD 法で解析する. InSb の断面を正方形とし, 一辺を $w = 35 \mu\text{m}$, 厚さを $t_s = 5 \mu\text{m}$ とする. 分散性媒質となる InSb の誘電率は Drude モデルで表現し, Trapezoidal Recursive Convolution 法 [6] で FDTD 法に組み込む. ポリエチレン (PE) 基板の屈折率を $n_{\text{PE}} = 1.5$ に選び, 基板の厚さを $h_s = 500 \mu\text{m}$ に固定する. AR 構造として, 1 層及び 2 層の無反射層 (ARC), またはモスアイ構造を付加する. 1 層の ARC の屈折率は, 理想値である $n_{\text{AC}} = \sqrt{n_{\text{PE}}}$ とする. 設計周波数を

$T = 295 \text{ K}$ での共振周波数 1.1 THz とし, 膜厚を $h = \lambda/(4n_{\text{AC}}) = 55.5 \mu\text{m}$ とする. 2 層の ARC の屈折率は $n_{\text{AC1}} = n_{\text{PE}}^{2/3}$, $n_{\text{AC2}} = n_{\text{PE}}^{1/3}$ で決定できる. 1 層目及び 2 層目の厚さをそれぞれ $h_1 = \lambda/(4n_{\text{AC1}}) = 52.0 \mu\text{m}$, $h_2 = \lambda/(4n_{\text{AC2}}) = 59.5 \mu\text{m}$ とする. モスアイ構造は, 高さが $h_m = 150 \mu\text{m}$ となるように基板を加工する. 入射には横方向に一樣な振幅を持つ E_y 偏波のパルス波を用い, 構造の上部から垂直に入射し下部で観測する. 刻み幅を $\Delta x = \Delta y = \Delta z = 0.5 \mu\text{m}$ に設定する.

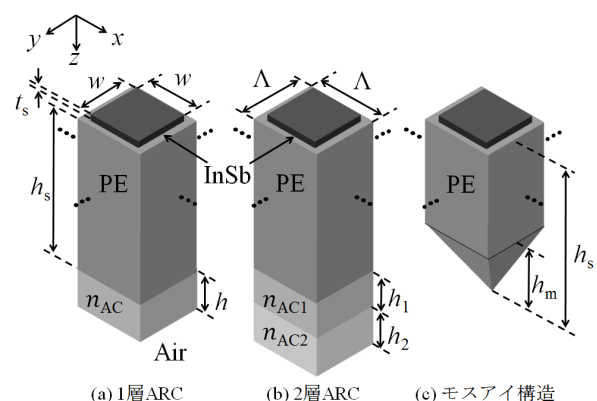


図 1 構造

図 2 に AR 構造付加時の透過特性を示す. 比較のため, AR 構造を付加しない場合の結果も併記する. 図より, AR 構造を付加しない場合は全帯域にわたって FP 共振の発生することが確認できる. ARC を付加す

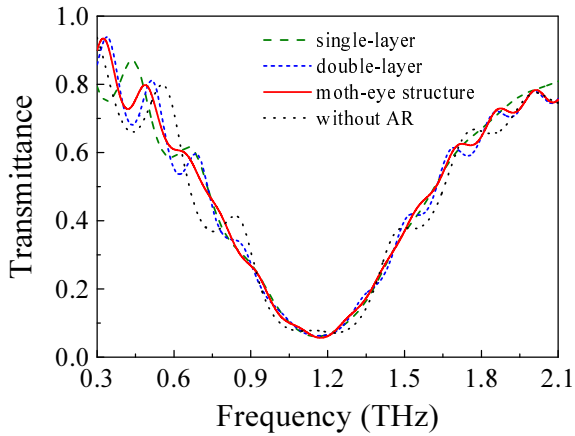


図 2 AR 構造付加時の透過特性

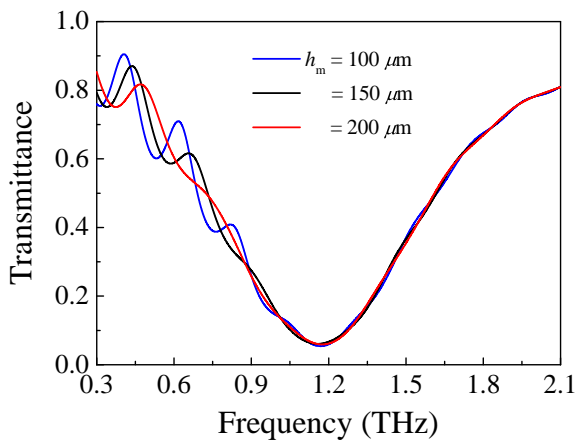


図 3 h_m を変化させた際の透過特性

ることで設計周波数付近の FP 共振が抑制される。特に、2 層付加した場合には、1 層付加に比べ FP 共振を抑制できる。しかしながら、設計周波数から離れるにつれて ARC の効果は小さくなる。他方、モスアイ構造を付加すると、2 層 ARC に比べ、広帯域に渡って FP 共振が大幅に低減される。広帯域に効果があるのは、特定の反射面を持たないためである。

図 3 にモスアイ構造の高さの変化に対する透過特性を示す。図より、モスアイ構造を高くするにつれ、FP 共振を抑制する効果が大きくなる。特に、 $h_m = 200 \mu\text{m}$ とした場合では、共振周波数より低周波側でも効果がある [7]。

3. 結び

3 次元構造の InSb パッチフィルタを周期境界条件を用いた FDTD 法により解析した。FP 共振を低減させるために AR 構造を付加し、透過特性を評価した。モスアイ構造を付加することで、2 層 ARC に比べ、広帯域に渡って FP 共振の抑制できることを明示した。さらに、モスアイ構造を高くするにつれ、低周波側の FP 共振を抑制する効果が得られることを明示した。

参考文献

- 1) 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.
- 2) 柴山, 山崎, 山内, 中野, "InSb パッチとクロスダイポールを用いた THz フィルタの透過特性," 信学総大, C-15-6, 2017.
- 3) 山崎, 柴山, 山内, 中野, "InSb クロスダイポールを用いた THz センサの解析," 信学総大, C-15-23, 2018.
- 4) D. G. Stavenga, S. Foletti, G. Palasantzas, and K. Arikawa, "Light on the moth-eye corneal nipple array of butterflies," *Royal Society*, vol. 273, pp. 661-667, 2006.
- 5) 柴山, 梅澤, 山内, 中野, "InSb グレーティングによるテラヘルツフィルタの FDTD 解析," 信学技報, EST2015-118, vol. 115, no. 434, pp. 169-174, 2016.
- 6) J. Shibayama, R. Ando, A. Nomura, J. Yamauchi, and H. Nakano, "Simple trapezoidal recursive convolution technique for the frequency-dependent FDTD analysis of a Drude-Lorentz model," *IEEE Photon. Technol. Lett.*, vol. 21, no. 2, pp. 100-102, 2009.
- 7) J. Shibayama, T. Yamazaki, J. Yamauchi, and H. Nakano, "Three-dimensional analysis of an InSb grating filter with an anti-reflection structure," *Progress in Electromagnetics Research Symposium*, Shanghai, China, p. 1778, 2016.