法政大学学術機関リポジトリ HOSEI UNIVERSITY REPOSITORY

PDF issue: 2024-12-27

金属パッチを装荷した偏波無依存ブラック シート

ITO, Hiroshi / 伊東, 浩志

(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)
60
(開始ページ / Start Page)
1
(終了ページ / End Page)
2
(発行年 / Year)
2019-03-31
(URL)
https://doi.org/10.15002/00022009

金属パッチを装荷した偏波無依存ブラックシート

NEARLY POLARIZATION-INDEPENDENT BLACK SHEET LOADED WITH A METAL PATCH

伊東 浩志 Hiroshi ITO

指導教員 山内 潤治

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 black sheet composed of metal-dielectric (MD) multilayer stacks is analyzed by finitedifference time-domain (FDTD) method. Combination of Fe and SiO_2 is adopted for the study. It is found that the addition of a square patch on top of the dielectric layer contributes to broadening the absorption characteristics.

Key Words : Solar energy, Absorber, Surface plasmons

1. まえがき

局在表面プラズモン (LSP) を利用した研究が盛んに されており、その一つとして、電磁波を吸収する素子が 検討されている.マイクロ波帯ではメタマテリアルの 使用により実証されている [1]. 他方, 光波帯では金属 と誘電体の交互層 (MD) で構成される平面吸収体が提 案されている [2],[3]. この光吸収体は従来に比べて簡素 な構造であり、センシングや太陽電池、放射冷却 [4]-[6] といった広範囲の領域で関心が高まっている.本稿で は、正方形金属パッチを装荷したブラックシートを検討 する [7],[8]. パッチ幅に対する吸収特性を調査する. 界 分布より、LSP モードによって短波長帯における吸収 率が改善され,広帯域に渡って高い吸収率を維持するこ とを示す.また、傾斜入射時でさえも広帯域特性を維持 できることを見出す.結果として、偏波にほとんど無依 存のブラックシートが実現可能であることを明らかに する.

2. 本論

図1に解析する周期構造のユニットセルを示す. 金 属には Fe を使用し, 0.7 μ m での屈折率 [9] を用いて Drude 分散性媒質として扱う.本稿では, TE, TM 両偏 波での動作を意図し, 空気層との界面にある金属膜を 正方形パッチにする.金属膜の厚さを $t_p = 95$ nm, パッ チ幅を w_p とする. 誘電体層で挟まれた金属膜の厚さを $t_m = 10$ nm に設定する. 予備的な計算によると, 金属 パッチを付加する場合には t_{s2} を小さくする必要が生 じた.そこで, 誘電体の厚みを $t_{s1} = 145$ nm, $t_{s2} = 50$ nm に設定する. 構造下部の金属の厚さは半無限とする. 金 属間の媒質は SiO₂ ($n_s = 1.45$) とする.本構造は x, y 方 向を無限周期としている ($\Lambda = 300$ nm). 構造上部の空 気層より, 一様な振幅をもつ直線偏波を入射し, 反射波



図1正方形金属パッチを装荷したブラックシート



図2金属パッチ幅を可変とした際の吸収特性

を観測する. 解析には周期境界条件を適用した FDTD 法を使用する.

パッチ幅を可変とした際の吸収特性について議論す る.図2に吸収率の波長特性を示す.比較として,構造 上部にパッチがない場合とフラットな金属の場合の特 性をそれぞれ黒,青線で併記する.パッチ設置前の平面





図3垂直入射時における H_u成分の界分布

図4入射角に対する動作中心波長および比帯域特性

構造でも, $\lambda = 1.0 \mu m$ 付近では 90%に近い吸収率が得られる. 金属パッチの装荷は, 可視光帯での吸収率の悪化を解消し, 吸収率の広帯域化に貢献する. 図より, $w_p = 0.5 \Lambda$ にすることで, $\lambda = 0.4 h$ から 2.0 μm の広帯域に渡って 94%以上の吸収率を維持していることがわかる. この w_p は 2 次元モデルで得られた構造値 [7] (0.33 Λ) に比べて大きくなっている.

 $\lambda = 0.7, 1.6 \ \mu m$ における H_y 成分の界分布を図3に 示す. 図より, $\lambda = 0.7 \ \mu m$ では金属パッチの近傍で LSP モードが励起されていることがわかる. 一方 $\lambda = 1.6 \ \mu m$ では, 金属パッチ部における LSP と誘電体下部層での 界とのハイブリッドモードの励起されている様子が観 察される.

図4に入射角に対する,動作中心波長および90%以上の吸収率の得られる比帯域特性を示す.図より,TE, TM 両偏波ともに, θ = 30°の場合でも125%以上の比 帯域(90%以上の吸収率)を維持している.可視光全域 で動作させることを想定すると,0.4 μ m から 0.8 μ m で 必要な比帯域は67%となり,検討のモデルは十分に要 求を満たしている.以上より,偏波にほとんど無依存の 広帯域なブラックシートが実現できたといえる.

3. まとめ

MDMD 構造に正方形金属パッチを装荷したブラッ クシートを取り上げ,パッチ幅 w_p に対する吸収特性を 調査した. $w_p = 0.5 \Lambda$ にすることで, $\lambda = 0.4$ から 2.0 μ m の広帯域に渡って 94%以上の吸収率を維持するこ とを示した. この w_p の値は, 2 次元モデルで予想され ていた値よりも大きいことを明らかにした. 界分布よ り, LSP モードによって広帯域に渡って高い吸収率を維 持することを示した. 加えて, 傾斜入射時においても広 帯域特性を維持できることを見出した. TE, TM 両偏波 ともに, $\theta = 30^\circ$ の場合でも 125%以上の比帯域 (90%以 上の吸収率)を維持することを明示した. 以上より, 偏 波にほとんど無依存のブラックシートが実現可能であ ることを明らかにした. なお, 類似の特性は Al₂O₃ と Ti との交互層でも実現できることを付記する [10].

参考文献

- Q. Cheng, T. J. Cui, W. X. Jiang, and B. G. Gai, "An omnidirectional electromagnetic absorber made of metamaterials," *New J. Phys.*, vol. 12, 063006, 2010.
- Lee, B. J. and Zhang, Z. M., "Design and fabrication of planar multilayer structures with coherent thermal emission characteristics," *J. Appl. Phys.*, vol. 100, pp. 063529-1-063529-10, 2006.
- Cui, Y., He, Y., Jin, Y., Ding, F., Yang, L., Ye, Y., Zhong, S., Lin, Y., and He, S., "Plasmonic and metamaterial structures as electromagnetic absorbers," *Laser Photon. Rev.*, vol. 8, no. 4, pp. 495-520, 2014.
- 4) Wu, D., Liu, C., Liu, Y., Yu, L., Yu, Z., Chen, L., Ma, R., and Ye, H., "Numerical study of an ultra-broadband nearperfect solar absorber in the visible and near-infrared region," *Opt. Lett.*, vol. 42, no. 3, pp. 450-453, Aug. 2017.
- 5) Dereshgi, S. A., Ghobadi, A., Hajian, H., Butun, B., and Ozbay, E., "Ultra-broadband, lithography-free, and largescale compatible perfect absorbers: the optimum choice of metal layers in metal-insulator multilayer stacks," *Sci. Rep.*, vol. 7, 14872, pp. 1-8, Nov. 2017.
- 山内 潤治, 高橋 直希, 伊東 浩志, 中野 久松, "可視光帯で 動作する平面吸収体の偏光フィルタへの適用," 信学総大, C-3-33, 2018.
- 7) Yamauchi, J., Takahashi, N., Ito, H., and Nakano, H., "Polarization-dependent and -independent absorbers with a periodic metal grating," *Int. Workshop on Opt. Wave Theory and Numerical Modelling*, P-07, Apr. 2018.
- 山内 潤治, 伊東 浩志, 中野 久松, "正方形金属パッチを 利用したブラックシート,"信学総大, C-3-34, 2018.
- Johnson, P. B. and Christy, R. W., "Optical constants of transition metals: Ti, V, Cr, Mn, Fe, Co, Ni, and Pd," *Phys. Rev. B*, vol. 9, no. 12, pp. 5056-5070, Jul. 1974.
- Yamauchi, J., Ito, H., Takahashi, N., and Nakano, H., "Nearly polarization-independent absorber consisting of metal-insulator multilayer stacks loaded with a metal patch," *Proc. of SPIE*, P-10913-46, Feb. 2019.