

特定方向から励振されたプラズモニックブ ラックポールの解析

大機, 慎太郎 / OHKI, Shintaro

(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)

57

(開始ページ / Start Page)

1

(終了ページ / End Page)

2

(発行年 / Year)

2016-03-24

(URL)

<https://doi.org/10.15002/00013022>

特定方向から励振されたプラズモニックブラックポールの解析

ANALYSIS OF A PLASMONIC BLACK-POLE ILLUMINATED FROM A SPECIFIC DIRECTION

大機 慎太郎

Shintaro OHKI

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 broadband omnidirectional light absorber, often called an optical black-hole, has received considerable attention. A plasmonic black-pole(PBP) using a periodic structure has been proposed and analyzed under the assumption that the PBP is omnidirectionally illuminated. In this paper, the case is considered where the PBP is illuminated with a cylindrical wave from a specific direction. It is shown that an absorptivity of more than 80% is obtained over a wavelength range of 500 nm to 1000 nm.

Key Words : Light absorber, Optical black-hole, Plasmonic black-pole(PBP), FDTD method in cylindrical coordinates, Periodic structure

1. はじめに

近年、表面プラズモンを利用した研究が盛んにおこなわれており、その1つとして、あらゆる方向から到来する電磁波を吸収する素子が検討されている [1]-[3]。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 [4]。他方、光波帯ではギャップ表面プラズモン (GSP) の利用が提案されている [5],[6]。GSP を利用した光波吸収体では、宇宙で存在が予想されているブラックホールとの類似性からプラズモニックブラックホールとしばしば呼ばれている。

一般に、孤立した金属粒子に光を照射すると、局在表面プラズモンにより電場増強効果が生じる。GSP は、この応用であり、近接した2つの金属粒子ギャップにおいて生じることが知られている。電場増強が特に著しくなる現象である。GSP を利用することで、アルミニウムなどの単純な金属粒子のみで吸収体を形成できる利点がある。

この特性を利用し、縦方向に周期性を取り入れた柱状の素子、プラズモニックブラックポール (PBP) が提案され、その特性が報告されてきた [7]-[9]。本稿では、周期境界条件を適用した3次元円筒座標系 FDTD 法 [10] を用いて、PBP を解析する。光波が特定方向から励振された場合についても、広帯域にわたり高い吸収率が得られることを明示する。

2. 本論

解析に用いる構造の全体図を図1(a)に示す。金属粒子は z 方向に無限に連なっているものとし、周期境界条件を利用する。金属にはアルミニウムを使用し、Drude-Lorentz 媒質 [11] として扱う。また、周囲の媒質は空気とする。図1(b)に ρ - z 断面における単一セルを示す。 ρ 方向の径 $r_\rho = 700$ nmとし、粒子の切断角 θ_r を変化させることで、構造を決定す

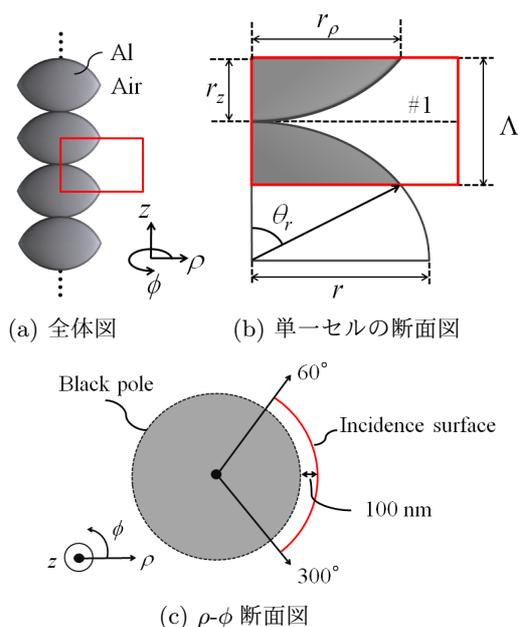


図1 構造

る。一周期の長さを $\Lambda = 2r_z$ とし、セルを構成する。解析に用いる刻み幅を $\Delta\rho = \Delta z = 1$ nm, $\Delta\phi = 15^\circ$ に選ぶ。図1(c)にPBPの ρ - ϕ 断面図を示す。入射波は、構造端より100 nm離れた位置から同相の円筒波を中心軸($\rho = 0$ nm)に向かって励振する。

図2に θ_r をパラメータとした吸収率の波長特性を示す。 θ_r を小さくすることで、高い吸収率の得られることが分かる。特に、 $\theta_r = 10^\circ$ において、波長500から1000 nmの広帯域で80%以上の高い吸収率が得られている。PBPにおい

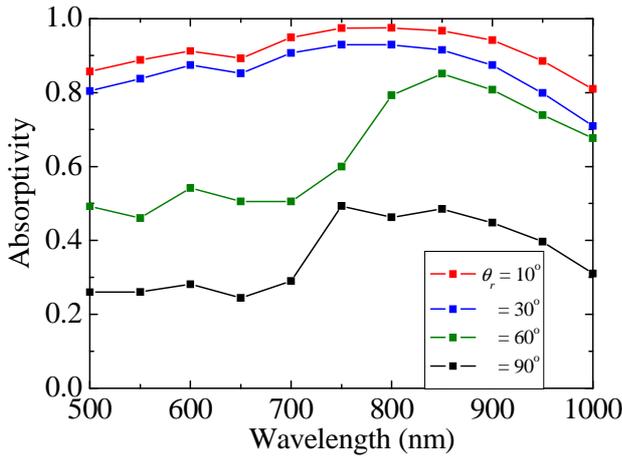


図2 吸収率の波長特性

て θ_r が大きいときに吸収率が低くなる主な要因は、反射波の存在である。これは、 θ_r が大きいときでは、セル端での接線が入射偏波と同一方向となるためである。他方、 θ_r を小さくすることで、光波がギャップ部に滑らかに入射され、十分に減衰を受ける。結果として、反射されるパワーは小さくなり、効率よく吸収される。

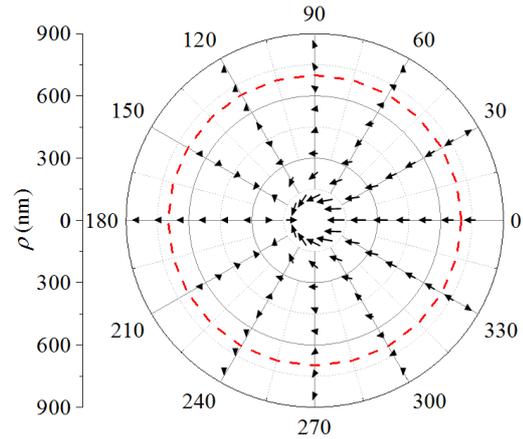
図3に、 $\lambda = 750 \text{ nm}$ における、 $\theta_r = 10^\circ$ の場合の ρ - ϕ 断面でのポインティングベクトル分布を示す。観測位置は図1(b)の#1とする。矢印は30dBレンジで表記している。比較のため、自由空間中に界を入射した結果を併記する。当然のことながら、自由空間中に入射された界は中心軸を通り広がっている。他方、PBPに光波が入射されることで、ポインティングベクトルが中心軸に向かって巻き込まれるように傾くことが分かる。この効果は中心軸に近いほど顕著に観察される。さらに、中心軸付近において、GSPによる界の増強も確認でき、透過するパワーは極めて小さくなる。

3. むすび

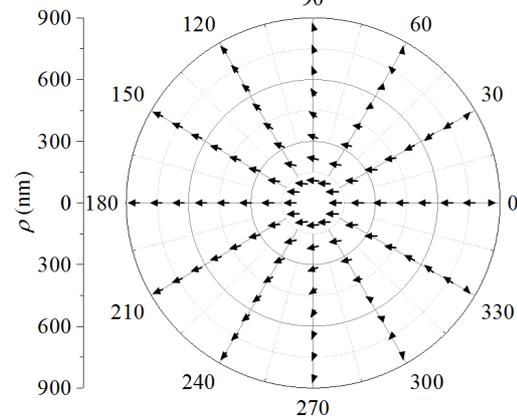
周期境界条件を適用した3次元円筒座標系FDTD法を用いてプラズモンニックブラックポール(PBP)を解析し、その特性を評価した。始めに、粒子形状に対する波長特性を示し、金属粒子の一部を切り取ることで高い吸収率が達成されることを明らかにした。特に、 $\theta_r = 10^\circ$ において、波長500から1000 nmの広帯域で80%以上の吸収率が得られることを示した。加えて、ポインティングベクトル分布により、光波がPBP上で巻きこまれるように吸収される様子を明示した。

参考文献

- 1) C. Argyropoulos, E. Kallos, and Y. Hao, "FDTD analysis of the optical black hole," *J. Opt. Soc. Am. B*, vol. 27, no. 10, pp. 2020-2025, Oct. 2010.
- 2) H.-W. Wang and L.-W. Chen, "A cylindrical optical black hole using graded index photonic crystals," *J. Appl. Phys.*, vol. 109, 103104, 2011.
- 3) E. E. Narimanov and A. V. Kildishev, "Optical black hole: Broadband omnidirectional light absorber," *Appl. Phys. Lett.*, vol. 95, 041106, 2009.
- 4) Q. Cheng, T. J. Cui, W. X. Jiang, and B. G. Cai, "An omnidi-



(a) Black-Pole



(b) Free space

図3 ポインティングベクトル分布 ($\lambda = 750 \text{ nm}$)

rectional electromagnetic absorber made of metamaterials," *New J. Phys.*, vol. 12, 063006, 2010.

- 5) A. I. Fernández-Domínguez, S. A. Maier, and J. B. Pendry, "Collection and concentration of light by touching spheres: A transformation optics approach," *Phys. Rev. Lett.*, vol. 105, 266807, 2010.
- 6) K. V. Nerkararyan, S. K. Nerkararyan, and S. I. Bonzhevolyani, "Plasmonic black-hole: Broadband omnidirectional absorber of gap surface plasmons," *Opt. Lett.*, vol. 36, no. 22, pp. 4311-4313, Nov. 2011.
- 7) J. Yamauchi, Y. Nakagomi, and H. Nakano, "Plasmonic pole-absorber using a periodic structure," *Asia-Pacific Conference on Antennas and Propagation*, T1A2, Chiang Mai, Aug. 2013.
- 8) J. Yamauchi, S. Ohki, and H. Nakano, "Analysis of a plasmonic pole-absorber illuminated from a specific direction," *Optical Wave and Waveguide Theory and Numerical Modelling*, p. 79, London, Apr. 2015.
- 9) 大機 慎太郎, 山内 潤治, 中野 久松, "周期構造を利用したプラズモンニックブラックポールのFDTD解析," 信学技報, OPE2015-152, pp. 27-32, 2016.
- 10) K. Kunz and R. J. Juebbers, *The Finite Difference Time Domain Method for Electromagnetics*, Boca Raton, FL: CRC Press, pp. 370-378, 1993.
- 11) A. Vial, "Implementation of the critical points model in the recursive convolution method for modelling dispersive media with the finite-difference time domain method," *J. Opt. A: Pure Appl. Opt.*, vol. 9, pp. 745-748, 2007.