

周期的に空孔を設けた1/4波長金属板の解析

TAKAGI, Yuhei / 高木, 雄平

(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/10.15002/00013037>

周期的に空孔を設けた1/4波長金属板の解析

ANALYSIS OF QUARTER-WAVE PLATES USING A PERIODIC HOLE ARRAY IN A METALLIC PLATE

高木 雄平

Yuhei TAKAGI

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

Two types of quarter-wave plates using a periodic hole array in a metallic plate are analyzed by the finite-difference time-domain (FDTD) method with the periodic boundary condition. The plate consisting of periodic triangular holes exhibits counter-circular-polarization characteristics, i.e., the incident light can be changed from linear to right- or left-handed circular polarization at different wavelengths. The plate consisting of periodic rectangular holes acts as an efficient polarization converter over a wide wavelength range of $\lambda = 1.05 \sim 1.30 \mu\text{m}$ with a high transmittance of more than 61%.

Key Words : quarter-wave plate, periodic structure, finite-difference time-domain method

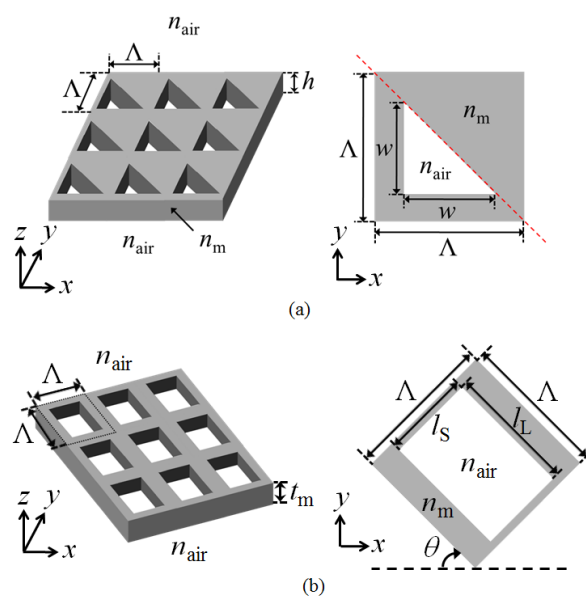
1. まえがき

直線偏波を円偏波に変換する1/4波長板には種々なものがある。特に、金属による表面プラズモンを利用した1/4波長板が注目されており、誘電体のみで構成されたものより極めて薄い構造で偏波変換を達成できることが報告されている。例えば、L字の金属素子を周期的に並べたもの[1]や、クロススロット[2]、長方形の環状の溝[3]などの空孔を周期的に設けた1/4波長板が提案されている。しかし、いずれの1/4波長板も、薄い構造で動作するものの、金属による反射で透過率が40%程度と改善の余地があった。そこで透過率を改善するために、より開口部を大きくできる、三角形孔、長方形孔を設けた1/4波長金属板を提案し、透過率が向上されることを報告してきた[4]-[6]。

本稿の目的は、周期的に三角形孔、または長方形孔を設けた1/4波長金属板の偏波変換特性をより詳細に議論することである。三角形孔を設けた場合、波長により右旋円偏波及び左旋円偏波が得られる反円偏波特性を持つことを明示する。長方形孔を設けた際には、高い透過率を維持しながら広帯域で動作することを示す。解析には、周期境界条件を用いた有限差分時間領域法(FDTD法)[7]を使用する。

2. 本論

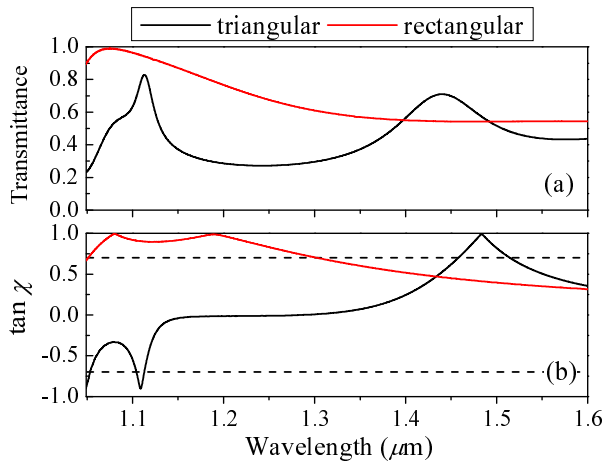
図1(a)に三角形孔を、図1(b)に長方形孔を周期的に設けた1/4波長金属板の構造を示す。金属にはAg[8]を使用し、Drude分散性媒質として扱う。構造の上部、下部、及び空孔の内部の媒質は空気とする。金属板の厚さ $t_m = 0.36 \mu\text{m}$ 、構造の周期 $\Lambda = 1.0 \mu\text{m}$ に設定する。三角形孔の一辺の長さを $w = 0.82 \mu\text{m}$ とし、長方形孔の長辺の長さを $l_L = 0.88 \mu\text{m}$ 、



(a) 三角形孔, (b) 長方形孔

図1 構造

短辺の長さを $l_S = 0.60 \mu\text{m}$ に選ぶ。構造下部の空気層より一様な振幅を持つ直線偏波(E_x)を入射し、構造上部の空気層において透過波を観測する。入射偏波軸に対して構造に非対称性を持たせるために、長方形孔ではユニットセルを $\theta = 45^\circ$ 回転させる。解析に用いる刻み幅を $\Delta x = \Delta y = \Delta z = 0.01 \mu\text{m}$ に選ぶ。また、金属の周波数分散性を考慮するため、PLRC法[9]を適用する。



(a) 透過率, (b) 楕円率
図 2 波長特性

(1) 波長特性

図 2 に (a) 透過率, (b) 楕円率の波長特性を示す。三角形孔を設けた場合の結果を黒線, 長方形孔を設けた場合の結果を赤線で示している。ここで楕円率の絶対値が 0.7 以上, 又は -0.7 以下のとき, 透過波は 3dB 以下の円偏波とみなせる。楕円率が 0.7 以上で右旋円偏波, -0.7 以下で左旋円偏波となる。

三角形孔の場合, 透過波は $\lambda = 1.10 \sim 1.11 \mu\text{m}$ で左旋円偏波, $\lambda = 1.46 \sim 1.51 \mu\text{m}$ では右旋円偏波となる。つまり, 波長により, 右旋と左旋の円偏波が得られる反円偏波特性を持つことが見出せる。左旋円偏波が得られる帯域では, 円偏波となる帯域は狭いものの, 70% ~ 83% の高い透過率が観察される。他方, 右旋円偏波とみなせる帯域では, 透過率は 48% ~ 68% となる。特に, $\lambda = 1.48 \mu\text{m}$ において最も高い楕円率 (0.99) が観察され, 57% の透過率が得られる。

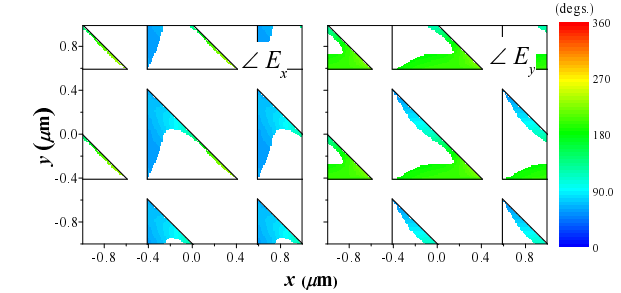
長方形孔の場合, $\lambda = 1.05 \sim 1.30 \mu\text{m}$ の広帯域で右旋円偏波が観察される。この帯域での透過率は 61% 以上あり, 最大値は極めて高い 99% となる。加えて, $\lambda = 1.08, 1.19 \mu\text{m}$ の 2カ所のピークで楕円率 0.99 を得る。従って, 三角形孔に比べ, 反円偏波特性は観察されないものの, 広帯域で動作し, かつ, 透過率も高いことが分かる。

(2) 位相分布

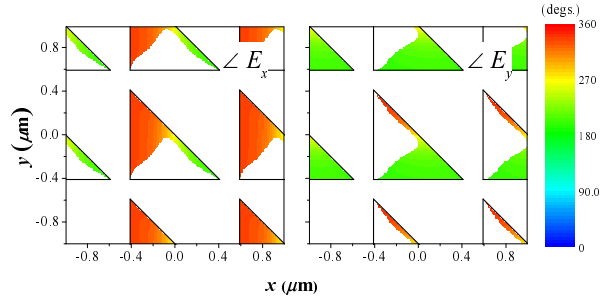
図 3(a), (b), (c) に, 高い楕円率が得られた波長での構造の出力端における E_x , E_y 成分の位相分布を示す。三角形孔の場合 $\lambda = 1.11, 1.48 \mu\text{m}$, 長方形孔の場合 $\lambda = 1.19 \mu\text{m}$ の位相分布を示している。各成分における振幅の最大値より 25% 未満となる点での位相は白抜きで表している。図 3 より, 三角形孔, 長方形孔ともに E_x , E_y 成分間の位相差が約 $\pm 90^\circ$ となることが観察できる。さらに, 三角形孔の場合, 左旋円偏波が得られる $\lambda = 1.11 \mu\text{m}$ と右旋円偏波が得られる $\lambda = 1.48 \mu\text{m}$ における E_x 成分の位相は 180° 異なっていることがわかる。

3. まとめ

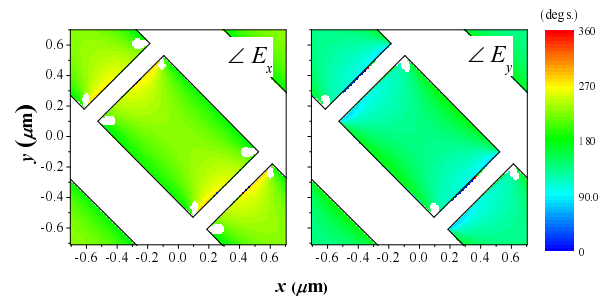
周期的に三角形孔, 長方形孔を設けた 1/4 波長金属板を, 周期境界条件を適用した FDTD 法により解析し, その偏波変換特性を詳細に明らかにした。三角形孔を設けた場合, 透過波は $\lambda = 1.10 \sim 1.11 \mu\text{m}$ で左旋円偏波, $\lambda = 1.46 \sim 1.51 \mu\text{m}$ では右旋円偏波となる反円偏波特性を持つことを明示した。長方形孔を設けた場合, 61% 以上の高い透過率を維持しながら $\lambda = 1.05 \sim 1.30 \mu\text{m}$ の広帯域で 1/4 波長板として動作することを示した。



(a) $\lambda = 1.11 \mu\text{m}$ (三角形孔)



(b) $\lambda = 1.48 \mu\text{m}$ (三角形孔)



(c) $\lambda = 1.19 \mu\text{m}$ (長方形孔)

図 3 位相分布

参考文献

- 1) B. Yang *et al.*, *Opt. Lett.*, vol. 38, no. 5, pp. 679-681, 2013.
- 2) A. Roberts and L. Lin, *Opt. Lett.*, vol. 37, no. 11, pp. 1820-1822, 2012.
- 3) Z. Chen *et al.*, *Opt. Commun.*, vol. 297, no. 15, pp. 198-203, 2013.
- 4) J. Yamauchi, Y. Takagi, and H. Nakano, *Optical Wave and Waveguide Theory and Numerical Modelling*, p. 86, 2015.
- 5) 山内, 高木, 中野, 信学総大, C-3-3, 2015.
- 6) 山内, 高木, 谷口, 中野, "金属膜に周期的に非対称開口を配置した位相差板," 特願 2015-29941, 2015.2.18.
- 7) A. Taflov and S. C. Hagness, *Computational Electrodynamics*, pp. 559-560, Artech House, 2005.
- 8) P. B. Johnson and R. W. Christy, *Phys. Rev. B*, vol. 6, no. 12, pp. 4370-4379, 1972.
- 9) D. F. Kelley and R. J. Luebbers, *IEEE Trans. Antennas Propagat.*, vol. 44, no. 6, pp. 792-797, 1996.