

広帯域に動作する入射偏波面無依存偏波回転子

CHUJO, Takanori / 中條, 孝則

(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. 理工学研究科編

(巻 / Volume)

64

(開始ページ / Start Page)

1

(終了ページ / End Page)

2

(発行年 / Year)

2023-03-24

(URL)

<https://doi.org/10.15002/00026361>

広帯域に動作する入射偏波面無依存偏波回転子

POLARIZATION ROTATOR INDEPENDENT OF INCIDENT POLARIZATION PLANE OPERATING OVER A WIDE WAVELENGTH RANGE

中條孝則

Takanori CHUJO

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 polarization rotator (PR) is analyzed by the imaginary-distance beam-propagation method based on Yee's mesh and the finite-difference time-domain method. The PR is developed for wideband characteristics and independence of incident polarization plane. Calculations regarding the period length of the structure show that the propagation constant difference has an extreme value with the wavelength change. Therefore, changing the thickness of the structure leads to a phase difference close to π over a wide wavelength range. By adjusting the extreme of the propagation constant difference, the PR achieves 90° polarization rotation while maintaining linear polarization over a wide wavelength range.

Key Words : polarization rotator, periodic structure, dielectric layers

1. はじめに

近年、周期構造を用いた偏波制御デバイスに関心が高まっている [1],[2]. 偏波制御デバイスの一つとして直線偏波回転子 (PR)[3] がある. PR は透過する光波の位相差により偏波を制御する. 偏波を制御する位相差は周期構造のユニットセルの非対称性から得ることができるため, 2つの直交モードの実効屈折率差を利用することでPRを設計できると期待される. 位相差が π であるとき, 入射波が直線偏波を保ちながら 90° 回転する $1/2$ 波長板として偏波回転特性を有する. ただし, 入射偏波面に依存し適切な偏波面でなければ十分な偏波回転が行われない問題があった. そこで, 誘電体平行平板からなる $1/2$ 波長板を任意の交差角で積層すると, 交差角の2倍に偏波回転を行う入射偏波面無依存偏波回転子として動作することが明らかとされている [4]. 本論文では, 最初に誘電体平行平板の基本特性に立ち返り, 単一層構造と積層構造の解析を行う. 周期長と厚さを変化させた際の位相差特性を解析する. パラメータの選択によって位相差の波長特性に極値が生じ, 広帯域に偏波回転することを明らかにする. 次に, これを応用し, 積層構造とすることで入射偏波面無依存の偏波回転子を実現する.

2. 本論

図1に最終的な提案構造となる, 誘電体平行平板の積層構造を示す. 平行平板の周期長を Λ , 高屈折率層

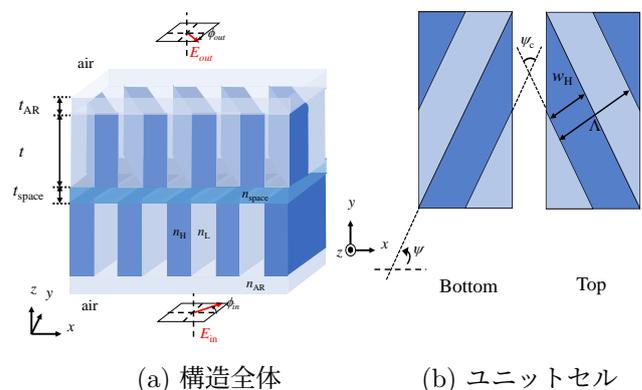


図1 構造図

の幅を W_H とし充填率を $f = W_H/\Lambda$ と定義する. また, 設計中心波長を $\lambda_c = 1.45 \mu\text{m}$ とする. 平行平板を構成する2種類の誘電体には, シリコンと石英を想定し, 高屈折率層と低屈折率層の屈折率をそれぞれ $n_H = 3.485$ (Si)[5], $n_L = 1.445$ (SiO₂)[6]とする.

(1) 広帯域化設計

まず, 図1の基本要素である単層構造を取り上げ, 広帯域特性を実現するために, 周期長と厚さを変化させた際の, 位相差 γ の変化を議論する. $f = 0.5$ に固定し, Λ を変化させた場合の $\Delta\beta$ の波長特性を図2に示す. 図より, Λ の適切な選択により $\Delta\beta$ の変化に極値が生じ, $\Delta\beta$ の変動の小さく抑えられることが見出せ

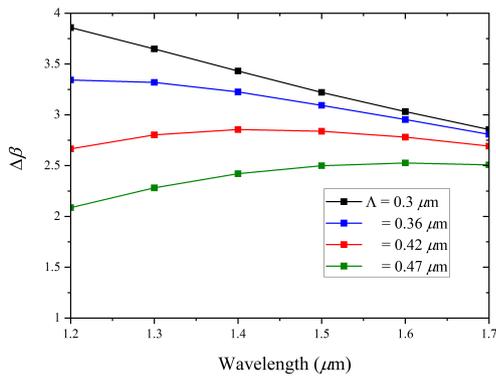


図 2 伝搬定数差 $\Delta\beta$ の波長特性 ($f = 0.5$)

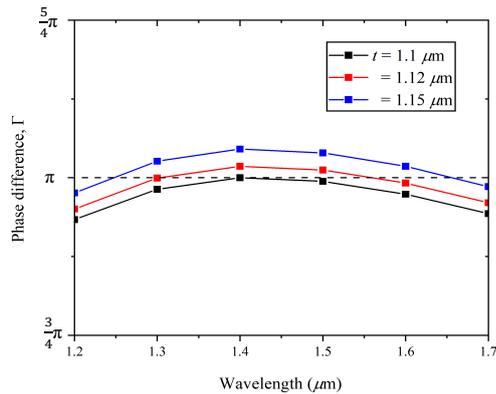


図 3 位相差 Γ の波長特性 ($\Lambda = 0.42\mu\text{m}$)

る。 $\Lambda = 0.42 \mu\text{m}$ では、 $\Delta\beta$ の変化が最も小さくなるので、以降の議論では、この構造を採用する。次に、厚さ t を変化させた際の位相差 γ の波長特性を図 3 に示す。極値をとる波長での $\Delta\beta$ から $1/2$ 波長板となる厚さ t を計算すると $t \approx 1.1 \mu\text{m}$ となる。図より、 t を $1.1 \mu\text{m}$ に選択すると、広帯域で所望の位相差 $\Gamma = \pi$ に近い値が得られ、 $1/2$ 波長板としての動作が期待される。

(2) 偏波回転特性

最後に $t = 1.1 \mu\text{m}$ の場合を取り上げ、単層構造と積層構造の FDTD 解析を行う。反射防止膜 (ARC) として SiO_2 を平行平板の上下に設置する。このとき、波長 $1.45 \mu\text{m}$ での 1st モードと 2nd モードの実効屈折率の平均値を用いて ARC を設計する。単層構造では、入射偏波面を平行平板から 45° の交差角である 112.5° で入射する。図 4 に単層構造の波長に対する透過率、偏波回転角、楕円率を示す。ARC は近似的な設計であるが、透過率が広帯域に 90% 以上となることがわかる。また、楕円率 $|\tan\chi| < 0.1$ (20dB 以上) を直線偏波とみなすと、 $\lambda = 1.2 \sim 1.6 \mu\text{m}$ で直線偏波を維持しながら 90° の偏波回転が達成される。さらに、図 5 に積層構造の波長に対する透過率、偏波回転角、楕円率を示す。広帯域に 90% 以上の透過率を維持しつつ、入射偏波面に無依存で 90° の偏波回転が達成されることがわかる。

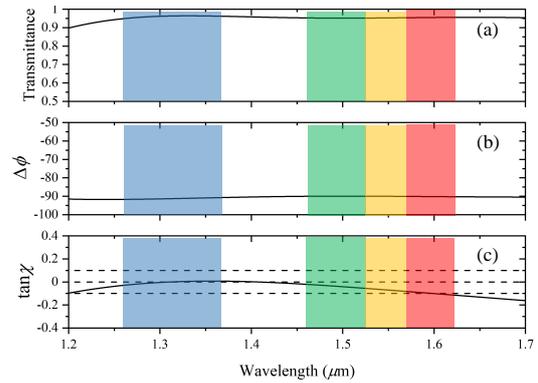


図 4 単層構造の波長特性：(a) 透過率、(b) 偏波回転角、(c) 楕円率

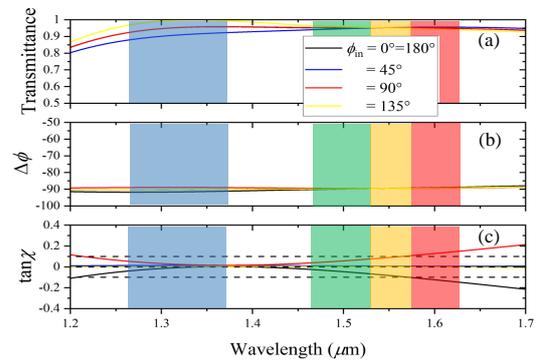


図 5 積層構造の波長特性：(a) 透過率、(b) 偏波回転角、(c) 楕円率

3. まとめ

誘電体平行平板の基本特性について検討を行った。はじめに、充填率を $f = 0.5$ とし、周期長 Λ と厚さ t を変化させ位相差の波長特性を評価した。 Λ を $0.42 \mu\text{m}$ 、 t を $1.1 \mu\text{m}$ に選択することで、広帯域に $1/2$ 波長板として動作することを見出した。次に、誘電体平行平板の偏波回転特性を評価した。透過率が広帯域に 90% 以上を維持することを確認した。また、積層構造では入射偏波面に無依存で 90° の偏波回転が達成されることを示した。

参考文献

- 1) D. Clarke, *Opt. Acta.*, vol. 14, no. 4, pp. 343-350, 1967.
- 2) 山内潤治, 中條孝則, 中野久松, 信学総大, C-3/4-9, 2021.
- 3) 朝生龍也, 中條孝則, 山内潤治, 中野久松, 信学総大, C-3/4-33, 2022.
- 4) 大石雅人, 朝生龍也, 山内潤治, 中野久松, 信学技報, OPE2020-64, pp. 96-100, 2020.
- 5) E. D. Palik ed., *Handbook of Optical Constants of Solids*, Academic Press, 1985.
- 6) I. H. Malitson, *J. Opt. Soc.*, vol. 55, no. 10, pp. 1205-1209, 1965.