法政大学学術機関リポジトリ

HOSEI UNIVERSITY REPOSITORY

PDF issue: 2025-05-09

卍形状の窪みを用いた全誘電体平面キラルナ ノグレーティングの透過特性

重永, 行範 / SHIGENAGA, Yukinori

(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)
55
(開始ページ / Start Page)
1
(終了ページ / End Page)
2
(発行年 / Year)
2014-03-24
(URL)

https://doi.org/10.15002/00010480

TRANSMISSION PROPERTIES OF ALL-DIELECTRIC PLANAR CHIRAL NANOGRATINGS USING GAMMADION-SHAPED GROOVES

重永 行範 Yukinori SHIGENAGA 指導教員 山内 潤治

法政大学大学院工学研究科情報電子工学専攻修士課程

All-dielectric planar chiral nanogratings (PCNGs) using gammadion-shaped grooves are analyzed by the finite-difference time-domain method with the periodic boundary condition. At a wavelength of 0.53 μ m, the conversion to a nearly circularly polarizated wave is obtained with a transmittance of 32%.

Key Words : Periodic Structure, Groove, Chiral

1. はじめに

光通信システムを構成する重要な光学素子の一つに偏波 変換器があり、これまで多くの研究がなされてきた [1]-[3]. 例えば、導波路型の変換器では、リブ導波路の一部に傾斜面 を設けた構造 [1] やスロット導波路 [2],[3] などが報告されて いる.

他方, 近年, 周期構造を利用した偏波変換器に関しても注 目が集まっており, 薄膜状の素子で自在な偏波変換が可能に なれば, 偏波センシングやベクトル偏光ビームの制御などに も応用が拡がると考えられる. その一例として, 卍形状素子 を2次元周期的に配列した平面キラルナノグレーティング (PCNG) が検討されてきた [4]-[6]. 光波の旋光する様子が明 らかとなっており, PCNG を用いれば, 波長程度の厚さで偏 波変換が達成できる. 筆者らは, FDTD 法を用いて, 様々な PCNG を評価してきた [7]-[13].

本稿の目的は、従来検討された突型 PCNG と相補関係に ある窪み型 PCNG を解析する.透過波の波長特性を、突型 PCNG の結果と比較検討する.

2. 本論

解析に用いる構造を図1に示す.基本的な構造値は突型 PCNG の場合と同一である [5]. 窪み型 PCNG の場合, グ レーティング部の屈折率分布が突型 PCNG と相補関係に なっている.グレーティング上部の屈折率 $n_1 = 1.0$, グレー ティングの屈折率 $n_g = 3.0$,高屈折率層の屈折率 $n_h = 3.0$, 基板の屈折率 $n_2 = 1.5$,グレーティングの厚さ $t_g = 0.2 \mu m$, 高屈折率層の厚さ $t_h = 0.2 \mu m$,構造の周期 $\Lambda = 0.5 \mu m$ とする. 卍形状のアーム幅とスリットの幅を,それぞれ $w = s = 0.08 \mu m$ とする.



本稿では透過波の波長特性を,透過率,偏波の回転角,楕円率の観点から評価する. グレーティング上部の空気層より一様な振幅を持つ直線偏波 (*E*_y)を入射し,基板内部で透過波を観測する. ここで,透過率,偏波の回転角,楕円率は以下の式より求める.

$$T = \frac{1}{2}(T_{\rm R} + T_{\rm L}), \ \theta = \frac{1}{2}(\phi_{\rm R} - \phi_{\rm L} - \pi), \ \tan \chi = \frac{E_{\rm R} - E_{\rm L}}{E_{\rm R} + E_{\rm L}}$$



(a) 透過率, (b) 偏波の回転角, (c) 楕円率

ただし, $T_{\rm R(L)} = (n_{\rm sub}/n_{\rm air})E_{\rm R(L)}^2$ とし, $E_{\rm R(L)}$, $\phi_{\rm R(L)}$ は, そ れぞれ右旋 (左旋) 偏波成分の振幅と位相を表している.

図 2 に, 透過率, 偏波の回転角, 楕円率の波長特性を示す. 比較として, 突型 PCNG の波長特性を併記する. 図 2(c) よ り, 構造に依らず, 波長 $\lambda = 0.75 \ \mu m$ を境にして楕円率の波 長特性は異なる. $\lambda = 0.75 \ \mu m$ より短波長側では, 透過波が 楕円偏波に, 長波長側では直線偏波になる. はじめに, 長波 長側の特性について議論する.

窪み型の場合, $\lambda = 0.76 \sim 0.78 \ \mu m$ の波長帯域において, 約6度の偏波回転角を保ちながら83%以上の高い透過率の 得られる様子が観察される.一定の偏波回転角と高い透過率 が比較的広帯域に得られることは,偏波回転を制御する上で 大きなメリットとなる.また, $\lambda = 0.79$, 0.86 μm において, 偏波の軸は90度回転する.つまり,入射された E_y 偏波は E_x 偏波に偏波変換される.しかしながら,このとき透過率は 極めて低く,入射波はほとんど透過しない.入射波が偏波変 換する様子は突型の場合でも観察される.特に $\lambda = 0.86 \ \mu m$ では,70%以上の高い透過率が得られる.ただし,この偏波 変換特性は波長の変化に対して非常に敏感である.

次に、 $\lambda = 0.75 \ \mu m$ より短波長側について議論する. $|\tan \chi| > 0.70(3 dB 以下)$ となる波長において、透過波は 円偏波とみなせる. 窪み型の場合、 $\lambda = 0.53, 0.58, 0.70 \ \mu m$ において、楕円率はそれぞれ 0.89, 0.96, -0.76 となり、透過 波はほぼ円偏波となる. 特に、 $\lambda = 0.53 \ \mu m$ では 32%の透過 率が得られる. 他方、突型の場合では、 $\lambda = 0.74 \ \mu m$ におい て最も高い楕円率 (-0.86) が観察される、また、このとき透 過率は 28%程度である. 従って、突型に比べ窪み型の方が高 い楕円率と透過率を得られることが分かる.

3. まとめ

卍形状の窪みを周期的に配置した, 窪み型 PCNG を FDTD 法を用いて解析し, 透過波の波長特性を示した. $\lambda = 0.76$ ~0.78 μ m の波長帯域において, 約 6 度の偏波回転角を 保ちつつ, 高い透過率の得られることを明示した. また, $\lambda = 0.53 \ \mu$ m において, 透過波は円偏波とみなせることを明 らかにし、32%の透過率が得られることを示した.

参考文献

- H. Deng, D. O. Yevick, C. Brooks, and P. E. Jessop, "Design rules for slanted-angle polarization rotators," *J. Lightw. Technol.*, vol. 23, no. 1, pp. 432-445, Jan. 2005.
- V. R. Almeida, Q. Xu, C. A. Barrios, and M. Lipson, "Guiding and confining light in void nanostructure," *Opt. Lett.*, vol. 29, no. 11, pp. 1209-1211, Jun. 2004.
- P. Müllner and R. Hainberger, "Structural optimization of silicon-on-insulator slot waveguides," *IEEE Photon. Technol. Lett.*, vol. 18, no. 24, pp. 2557-2559, Dec. 2006.
- 4) M. Kuwata-Gonokami, N. Saito, Y. Ino, M. Kauranen, K. Jefimovs, T. Vallius, J. Turunen, and Y. Svirko, "Giant optical activity in quasi-two-dimensional planar nanostructures," *Phys. Rev. Lett.*, vol. 95, 227401, 2005.
- B. Bai, Y. Svirko, J. Turunen, and T. Vallius, "Optical activity in planar chiral metamaterials: Theoretical study," *Phys. Rev. A*, vol. 76, 023811, 2007.
- 大寺康夫,"サブ波長キラル周期構造の偏光特性の解 析,"信学技報, EST2012-96, 2013.
- 7) 若林 佑, 福井 崇人, 山内 潤治, 中野 久松, "卍形状の窪 みを用いた全誘電体平面キラルナノグレーティングの 解析," 2011 年電子情報通信学会エレクトロニクスソ サイエティ大会, C-3-81, 2011.
- 若林 佑,福井 崇人,重永 行範,山内 潤治,中野 久松," 卍形状の金属素子を用いた平面キラルナノグレーティン グの解析,"2012年電子情報通信学会総合大会, C-3-94, 2012.
- 9) 重永 行範, 若林 佑, 山内 潤治, 中野 久松, "卍形状素子 を用いた平面キラルナノグレーティング," 光エレクト ロニクス 4 月研究会, 2012.
- 10) 若林 佑, 重永 行範, 山内 潤治, 中野 久松, "空気層に 挟まれた全誘電体平面キラルナノグレーティングの解 析," 2012 年電子情報通信学会エレクトロニクスソサ イエティ大会, C-3-43, 2012.
- 11) 若林佑,重永行範,福井崇人,山内潤治,中野久松," 卍形状素子を用いた平面キラルナノグレーティングの 固有モード解析,"2013年電子情報通信学会総合大会, C-3-13, 2013.
- 12) Y. Wakabayashi, Y. Shigenaga, J. Yamauchi, and H. Nakano, "All-dielectric planar chiral nanogratings with large opticla activity," *Progress in Electromagnetics Research Symposium*, Stockholm, 3A8b, 2013.
- 13) 重永 行範, 若林 佑, 山内 潤治, 中野 久松, "卍形状の窪 みを用いた平面キラルナノグレーティングの固有モー ド解析," 2013 年電子情報通信学会エレクトロニクス ソサイエティ大会, C-3-57, 2013.