

法政大学学術機関リポジトリ

HOSEI UNIVERSITY REPOSITORY

PDF issue: 2025-05-21

円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>

凹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

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

法政大学大学院理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 $0.53 \mu\text{m}$, the conversion to a nearly circularly polarized 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広がると考えられる. その一例として、凹形状素子を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 $t_g = 0.2 \mu\text{m}$, 高屈折率層の厚さ $t_h = 0.2 \mu\text{m}$, 構造の周期 $\Lambda = 0.5 \mu\text{m}$ とする. 凹形状のアーム幅とスリットの幅を、それぞれ $w = s = 0.08 \mu\text{m}$ とする.

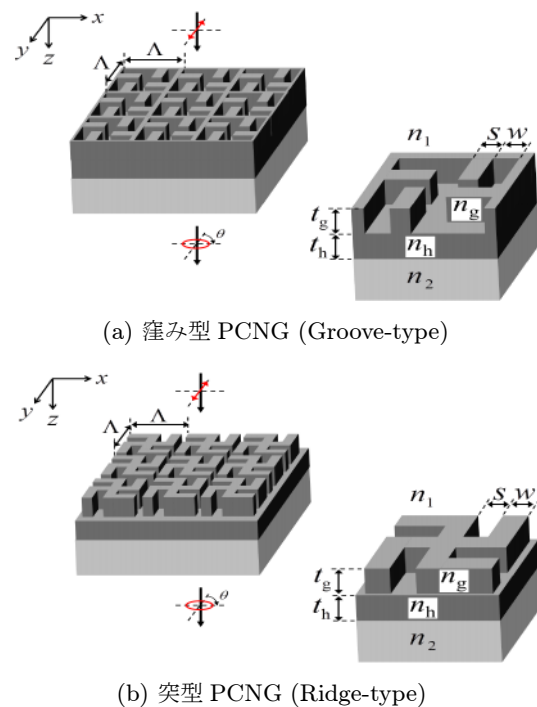


図1 構造

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.

$$T = \frac{1}{2}(T_R + T_L), \quad \theta = \frac{1}{2}(\phi_R - \phi_L - \pi), \quad \tan\chi = \frac{E_R - E_L}{E_R + E_L}$$

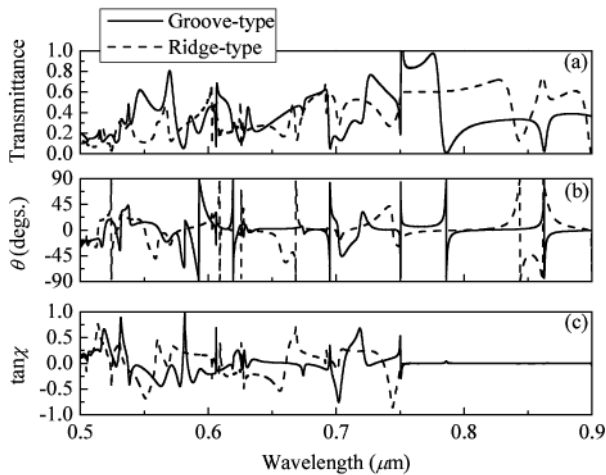


図2 波長特性

(a) 透過率, (b) 偏波の回転角, (c) 楕円率

ただし, $T_{R(L)} = (n_{\text{sub}}/n_{\text{air}})E_{R(L)}^2$ とし, $E_{R(L)}$, $\phi_{R(L)}$ 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 $\lambda = 0.75 \mu\text{m}$ を境にして楕円率の波長特性は異なる. $\lambda = 0.75 \mu\text{m}$ 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, $\lambda = 0.76 \sim 0.78 \mu\text{m}$ 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, $\lambda = 0.79, 0.86 \mu\text{m}$ 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 $\lambda = 0.86 \mu\text{m}$ 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, $\lambda = 0.75 \mu\text{m}$ より短波長側について議論する. $|\tan \chi| > 0.70$ (3dB 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, $\lambda = 0.53, 0.58, 0.70 \mu\text{m}$ 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, $\lambda = 0.53 \mu\text{m}$ では32%の透過率が得られる. 他方, 突型の場合では, $\lambda = 0.74 \mu\text{m}$ 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が得られることが分かる.

3. まとめ

円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. $\lambda = 0.76 \sim 0.78 \mu\text{m}$ 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, $\lambda = 0.53 \mu\text{m}$ 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

- 1) H. Deng, D. O. Yevick, C. Brooks, and P. E. Jes-sop, "Design rules for slanted-angle polarization ro-tators," *J. Lightw. Technol.*, vol. 23, no. 1, pp. 432-445, Jan. 2005.
- 2) 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.
- 3) P. Müllner and R. Hainberger, "Structural optimiza-tion 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. Tu-runen, and Y. Svirko, "Giant optical activity in quasi-two-dimensional planar nanostructures," *Phys. Rev. Lett.*, vol. 95, 227401, 2005.
- 5) B. Bai, Y. Svirko, J. Turunen, and T. Vallius, "Op-tical activity in planar chiral metamaterials: Theo-retical study," *Phys. Rev. A*, vol. 76, 023811, 2007.
- 6) 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, "円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.
- 8) 若林 佑, 福井 崇人, 重永 行範, 山内 潤治, 中野 久松, "円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, "円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, "円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 optica activity," *Progress in Electromag-netics Research Symposium*, Stockholm, 3A8b, 2013.
- 13) 重永 行範, 若林 佑, 山内 潤治, 中野 久松, "円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.