

法政大学学術機関リポジトリ

HOSEI UNIVERSITY REPOSITORY

PDF issue: 2025-01-15

誘電体スロット導波路配列を利用した反射型円偏光ミラー及びゼロシフトミラー

NARIMATSU, Reo / 成松, 怜朗

(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)

65

(開始ページ / Start Page)

1

(終了ページ / End Page)

2

(発行年 / Year)

2024-03-24

(URL)

<https://doi.org/10.15002/00030714>

誘電体スロット導波路配列を利用した 反射型円偏光ミラー及びゼロシフトミラー

REFLECTIVE CIRCULARLY-POLARIZED AND ZERO-PHASE-SHIFT MIRRORS USING AN ARRAY OF DIELECTRIC SLOT WAVEGUIDES

成松 伶朗

Reo NARIMATSU

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 circularly polarized mirror consisting of a slot waveguide array is proposed, and the wideband characteristics are demonstrated using the FDTD simulation. A phase shift of 90° is realized by the slot waveguide array, and the sufficient reflection is achieved by dielectric layers sandwiched with Ge and ZnS. A zero-phase-shift mirror is also developed by using square shaped dielectric pillars.

Key Words : Circularly-polarized mirror, Slot waveguide array, Ellipticity, Reflectance

1. はじめに

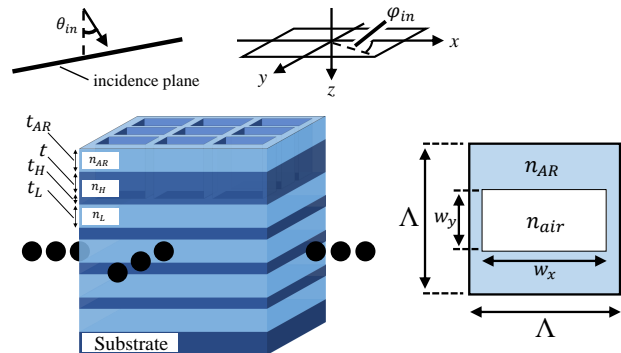
CO₂ レーザーを用いた加工には遠赤外光の各種ミラーが必要であり、直線偏光を円偏光に変換する偏波変換器が様々な形式で開発されている [1]-[3]。最近、誘電体スロット導波路配列 [4] で構成したグレーティングで位相制御を行う円偏光ミラーが提案された [5]。この種のミラーでは、従来用いられてきた誘電体多層膜構造に比べ、入射角に対する許容度が高い特長を持つ。

本論文では位相制御を担うグレーティング部を柱状の誘電体とした Pillar 型とその相補構造にあたる Void 型を設計し、解析を行う。従来、誘電体に四角柱の空隙を設けた構造 (Void 型) は波長選択板としての応用のみであったが [6]、本論文で円偏光ミラーとしての機能を有することを示す。ここでは広帯域特性が見られた円偏光ミラーの Void 型、ゼロシフトミラーの Pillar 型を代表例として記載する。

最後に、スロット導波路配列のアスペクト比を適切に変更することで、偏光面で位相差を生じさせずに光波を反射する、ゼロシフトミラーの設計も可能であることを明らかにし、本設計思想の柔軟性を示す。

2. 本論

解析する Void 型円偏光ミラー、Pillar 型ゼロシフトミラーの構造を図 1, 2 に示す。(a) は構造全体の概観、(b) はユニットセルの x - y 断面を示している。本構造は、基板上に $n_L = 2.2$ (ZnS) の低屈折率層と $n_H = 4.0$ (Ge) の高屈折率層からなるペアを積層した反射部と、周期配列を施した誘電体グレーティングで形成された偏波変



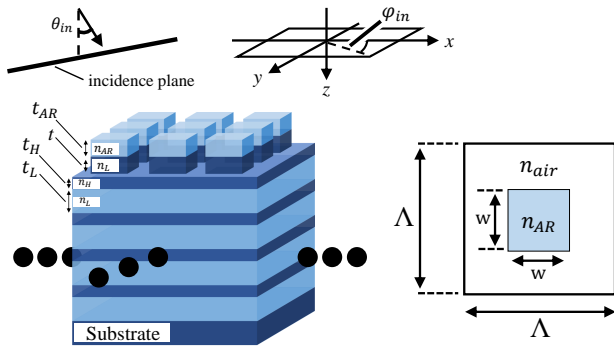
(a) 全体図

(b) ユニットセル

図 1 Void 型円偏光ミラーの構造

換部から成る。偏波変換部最上部の、 $n_{AR} = 2.2$ (ZnS) の誘電体は、スロット導波路配列に対する無反射層の役割を果たすよう設計し、 $t_{AR} = 1.2 \mu\text{m}$ とすることでインピーダンス整合を行い、反射を抑制する。入射波には、 $\phi_{in} = 45^\circ$ に傾いた平面波 (直線偏波) を用いる。

Void 型円偏光ミラーでは、グレーティングの幅 w_x と w_y を異なる長さとするこゝで、空隙部に励振された二つの直交モード (1st モードである E_x 成分と 2nd モードである E_y 成分) 間に位相定数差を生じさせる。加えて、これらのモードの位相差が 90° となるよう、グレーティングの導波路長 t を適切に選び、偏波変換を達成する。グレーティング部の周期長を $\Lambda (= \Lambda_x = \Lambda_y) = 2.0 \mu\text{m}$ とし、1 辺の長さをそれぞれ $w_x = f_x \Lambda$, $w_y = f_y \Lambda$ で定義する。ここで、フィルファクター f_x , f_y はそれぞれ周期長 Λ に対する空隙部 (Pillar 型では誘



(a) 全体図 (b) ユニットセル

図 2 Pillar 型ゼロシフトミラーの構造

電体) の比率を表し、本論文の円偏光ミラーでは $f_x = 0.9$, $f_y = 0.5$ としている。他方、ゼロシフトミラーの設計では二つ直交モード間で位相定数差を生じさせないように、 $f_x = f_y$ とすることで、グレーティング部のアスペクト比を 1 に固定し、誘電体充填率 f と導波路長 t のみを変化させ、解析を行う。

図 3 に、Void 型円偏光ミラーの波長特性を示す。入射角 θ_{in} を 45 度で固定し、波長を $\lambda = 10 \mu\text{m} - 11 \mu\text{m}$ の帯域で、反射部のペア数を 2-4 で変化させている。ペア数の増加とともに反射率が向上しており、4 ペアで設計することで、 $\lambda = 10 \mu\text{m} - 11 \mu\text{m}$ の帯域の全域に渡って 0.9 以上の反射率を維持していることが確認できる。一方、楕円率はペア数に依らず、広帯域に高い楕円率を保っている。また図 4 に、Void 型円偏光ミラーの構造最上面におけるパワー密度分布を示す。図より、パワーが空隙部に集中しており、構造の耐久性に寄与していると言える。他方、ゼロシフトミラーの波長-楕円率特性を図 5 に示す。本論文の構造にあたる、 $f = 0.55$, $t = 1.9 \mu\text{m}$ のものは、Au コートミラーに見られる全帯域での負の位相誤差の発生、また、従来構造 [2],[5] に見られる波長の変化に対する許容度の低さを克服している。

3. まとめ

FDTD 法を使用し、Void 型円偏光ミラー及び Pillar 型ゼロシフトミラーを解析し、楕円率が広帯域特性を有する利点を明らかにした。また、Void 型円偏光ミラーにおけるパワー密度分布を明示し、構造の耐久性に寄与することを示した。

参考文献

- 1) W. H. Southwell, "Multilayer coating producing 90° phase change," *Applied Optics*, vol. 18, no. 11, p.1875, 1979.
- 2) 岩本博美, 住友電気工業 (株), 円偏光ミラー, 特開平 06-186423.

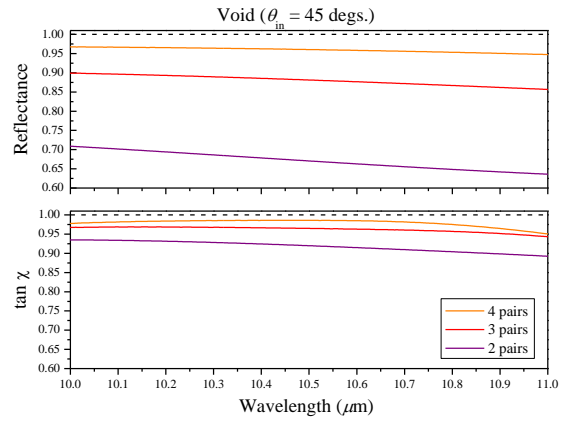


図 3 Void 型円偏光ミラーの波長特性

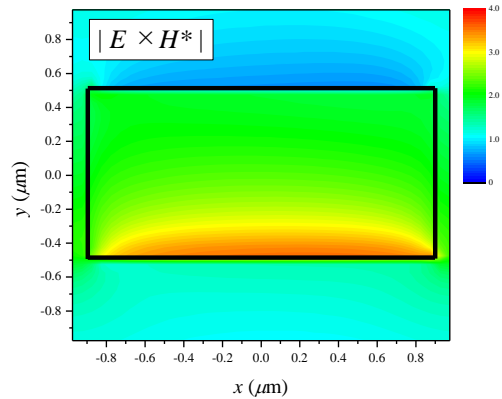


図 4 Void 型円偏光ミラーのパワー密度分布

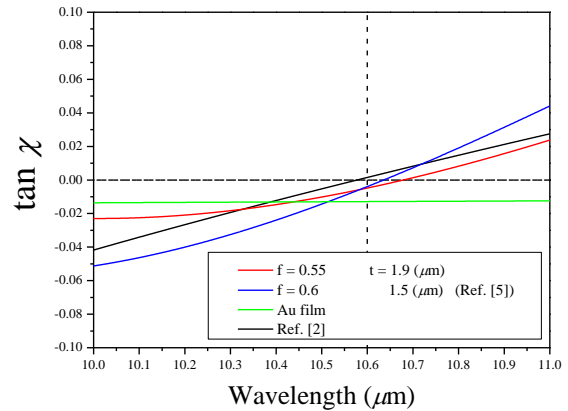


図 5 ゼロシフトミラーの楕円率の波長特性

- 3) 中井秀和, 三菱電機 (株), 赤外光学膜、円偏光ミラー、円偏光ミラーを備えたレーザ加工機、および赤外光学膜の製造方法, 特開 2016-136167.
- 4) 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, June 2004.
- 5) 山内 潤治, 大川内 巧, 光学ミラー, 特願 2019-230825.
- 6) A. M. Attiya and A. Kishk, "Modal analysis of a two-dimensional dielectric grating slab excited by an obliquely incident plane wave," *Progress In Electromagnetics Research.*, vol. 60, pp. 221-243, January 2006.
- 7) 成松 怜朗, 山内 潤治, 中野 久松, "スロット導波路配列を反射層上部に設けたゼロシフトミラー," 電子情報通信学会総合大会, C-3/4-33, 2023.