

側壁にラフネスを有する導波路型偏波変換器

高田, 匠 / TAKADA, Takumi

(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/10.15002/00013039>

側壁にラフネスを有する導波路型偏波変換器

WAVEGUIDE POLARIZATION CONVERTER WITH SIDEWALL ROUGHNESS

高田 匠

Takumi TAKADA

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 converter with sidewall roughness is analyzed by the imaginary-distance beam-propagation method based on Yee's mesh and the finite-difference time-domain method. The optimum configuration parameters are determined using the eigenmode analysis. When the converter length is chosen to be $2.6 \mu\text{m}$, the converter provides the wideband operation. Regardless of the presence of the sidewall roughness, an extinction ratio of more than 15dB is obtained over a wide wavelength range of $1.35 \mu\text{m}$ to $1.55 \mu\text{m}$, with an insertion loss of less than 1dB.

Key Words : Polarization Converter, Sidewall-roughness

1. はじめに

偏波変換器は、アイソレータや偏波無依存回路の構築に必要な不可欠な素子である。近年の加工技術の発展に伴い、光集積回路が小型化することで、回路の持つ偏波依存性は無視できない問題となっている。そのため、偏波変換器のような偏波を制御できる素子の重要性は高く、多くの研究がなされている [1],[2]。例えば、極めて短い変換長で広帯域に動作する三角形導波路型が提案され [3]、より製作が容易な構造として L 字型 Si 細線導波路を用いた偏波変換器が検討されている [4]。最近では、スロット導波路のようなナノ構造においても偏波変換器が考案され、その特性が報告されている [5],[6]。これらの変換器は強導波路であり、製作過程で側壁に生じるラフネスによる特性悪化が懸念される。しかしながら、これまでの研究では、ラフネスの無い理想的な解析モデルのみが取り扱われており、ラフネスが変換器に及ぼす影響については十分に検討されていなかった。

本論文では、L 字導波路型偏波変換器の導波路側壁にラフネスを考慮し、変換特性を明らかにする [7],[8]。解析には、Yee 格子に基づく虚軸ビーム伝搬法 (YM-BPM) と有限差分時間領域 (FDTD) 法を用いる。

2. 本論

L 字導波路型偏波変換器の構造を図 1 に示す。本論文では、偏波変換特性に特に影響を与えると予想される変換導波路の側壁面にのみラフネスを考慮する。各側壁面で独立に標準偏差 $\sigma = 5.0 \text{ nm}$ としたラフネスが生じることを仮定する。各構造値は、コア幅 $w = 0.32 \mu\text{m}$ 、変換導波路において欠損させずに残す部分の縦幅と横幅をそれぞれ γ_H , γ_V とし可変とする。また、変換導波路の長さを z_g と定義する。コア及び基板の屈折率を $n_{co} = 3.476$ (Si), $n_{sub} = 1.444$ (SiO_2) とする。

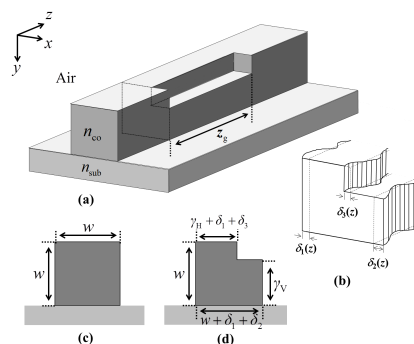


図 1 構造 (a) 鳥瞰図 (b) 変換導波路の拡大図 (c) 入力導波路 (d) 変換導波路

(1) 固有モード解析

まず、固有モード解析を行い偏波変換効率 η_{pc} が最大となるように構造値を決定する。 η_{pc} は次式によって見積もられる [9]。

$$\eta_{pc} = \sin^2(\theta + \theta') \sin^2\left(\frac{\pi z_g}{2L_c}\right) \quad (1)$$

ここで、 θ と θ' は、それぞれポインティングベクトルとフルベクトル型の重なり積分に基づいた変換部における光軸回転角、 z_g は実際のデバイス長、 L_c は理想的な偏波変換長である。デバイス長を理想的な変換長と仮定した場合、 $(\theta + \theta')$ が 90° に等しいとき η_{pc} は最大値をとる。図 2 に γ_H と γ_V の大きさに対する $(\theta + \theta')$ の等高線を示す。基板の存在のため、欠損部を長方形にすることで $(\theta + \theta')$ は 90° に近くなる。具体的には、 $\gamma_H/w = 0.55$, $\gamma_V/w = 0.65$ に選ぶことで $(\theta + \theta')$ は 90.4° をとる。このとき偏波変換長は $2.48 \mu\text{m}$ となる。なお、実際の変換導波路長 z_g は広帯域に動作させるために理想的な変換長よりも僅かに長い $2.6 \mu\text{m}$ に選択する [4]。次に、この構造値に固定して変換導波路側壁

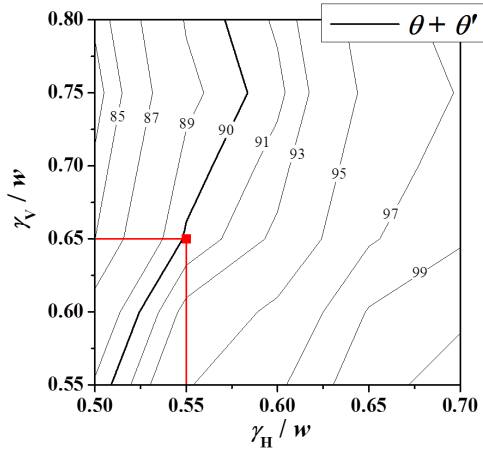


図 2 ($\theta + \theta'$) の等高線図

にラフネスを考慮した場合の偏波変換特性を評価する。

(2) 伝搬解析

FDTD 法を用いて伝搬解析を行う。図 3 に $x-z$ 平面における伝搬界分布を示す。図より、 E_x 成分において、ラフネスが存在する導波路側壁の界が僅かに乱れていることが観察される。しかしながら、励振された E_x モードは、変換導波路を伝搬するにしたがって E_y モードへ変換していることが見出せる。このことから、側壁にラフネスを考慮した場合でも良好な偏波変換が達成されることがわかる。

次に、波長特性を評価する。図 4 に消光比と挿入損の波長特性を示す。比較のため、ラフネスの無い $\sigma = 0.0$ nm の結果も併記している。図より、波長 $\lambda = 1.3 \mu\text{m} \sim 1.64 \mu\text{m}$ の広帯域にわたって消光比 15dB 以上の偏波変換特性を維持することが見出せる。また、 $\sigma = 0.0$ nm の場合と比べ、1 つ目のピークが短波長側にシフトしていることが観察される。これは、短波長成分はラフネスの影響を受けやすく実効的な伝搬距離が増加したためである。さらに、挿入損は、長波長側で比較的大きくなる傾向を示すものの、通信波長帯 ($\lambda = 1.3 \mu\text{m} \sim 1.55 \mu\text{m}$) では 1dB 以下に抑えられている。

3. まとめ

側壁にラフネスを有する導波路型偏波変換器の変換特性を明らかにした。

まず、虚軸 YM-BPM を用いて固有モード解析を行い、構造値の最適化を行った。基板の存在のため、欠損部を長方形にすることで高い変換効率の得られることを示した。

次に、FDTD 法を用いて伝搬解析を行い導波特性を評価した。導波路側壁にラフネスを考慮した場合でも、通信波長帯 ($\lambda = 1.3 \mu\text{m} \sim 1.55 \mu\text{m}$) において 15dB 以上の消光比を維持し、挿入損は 1dB 以下と十分な偏波変換特性の得られることを明示した。

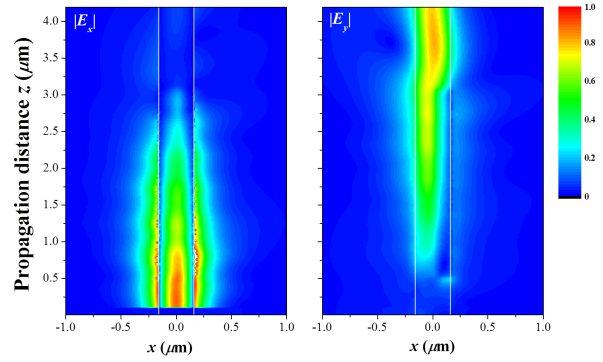


図 3 界分布

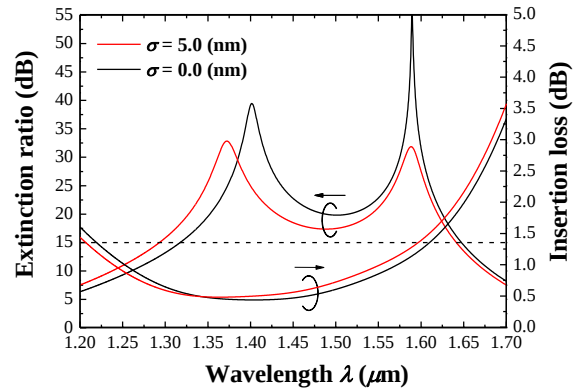


図 4 消光比と挿入損の波長特性

参考文献

- 1) Y. Shani, R. Alferness, T. Koch, U. Koren, M. Oron, B. I. Miller, and M.G. Young, *Appl. Phys. Lett.*, vol.59, no.11, pp.12781280, Sep. 1991.
- 2) V.P. Tzolov and M. Fontaine, *Opt. Commun.*, vol.127, pp.713, Jun. 1996.
- 3) J. Yamauchi, M. Yamanoue, and H. Nakano, *J. Lightw. Technol.*, vol. 26, no. 12, pp. 1708-1714, Jun. 2008.
- 4) Y. Wakabayashi, T. Hashimoto, J. Yamauchi, and H. Nakano, *J. Lightw. Technol.*, vol. 31, no. 10, pp. 1544-1550, May 2013.
- 5) 山内 潤治, 高田 匠, 中野 久松, 信学総大, C-3-65, Mar. 2014.
- 6) 山内 潤治, 高田 匠, 中野 久松, 信学ソ大, C-15-2, Sep. 2014.
- 7) 山内 潤治, 高田 匠, 中野 久松, 信学総大, C-3-6, Mar. 2015.
- 8) J. Yamauchi, T. Takada, and H. Nakano, *Optical Wave and Waveguide Theory Numerical Modelling*, p. 91, London, Apr. 2015.
- 9) 山内 潤治, 信学論 (C), vol. J97-C, no. 5, pp. 169-176, May 2014.