

側壁のラフネスが屈曲導波路型偏波変換器に及ぼす影響

KOBAYASHI, Yuki / 小林, 侑生

(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/10.15002/00026348>

側壁のラフネスが屈曲導波路型偏波変換器に及ぼす影響

EFFECTS OF SIDE ROUGHNESS ON BENT-WAVEGUIDE POLARIZATION CONVERTER

小林侑生

Yuki KOBAYASHI

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

The fabrication process of a Si-wire waveguide yields sidewall roughness which scatters the propagating field. It is, therefore, important to understand the effects of the roughness on the propagating field of a functional waveguide device. In this article, a bent waveguide polarization converter with sidewall roughness is analyzed by the finite-difference time-domain method. It is found that the extinction ratio is decreased and the insertion loss is increased as the bend radius is decreased, regardless of the presence or absence of the sidewall roughness.

Key Words : roughness, polarization converter

1. まえがき

Si 細線導波路のコアの一部を欠損した L 字型偏波変換器が検討されている [1],[2]. これまでの多くの理論的研究では, 側壁が理想的に作製されたことを仮定していた. しかしながら, 実際の製造工程において側壁に無視できないラフネスが生じ得る, そこで我々は側壁のラフネスが直線導波路型偏波変換器に及ぼす影響について検討を行ってきた [3],[4]. 他方, 屈曲光導波路は, 光回路の高密度集積化に必要不可欠であり, これまでに多くの研究がなされている. 強導波路では光の閉じ込めが強いため, 小さな曲げ半径が利用できる. 我々は, 円筒座標系 FDTD 法を用いて, 屈曲 Si 細線導波路を解析し, 偏波クロストークが無視できないほど生じていることを明らかにしてきた [5]. しかしながら, このことは, 屈曲導波路を偏波変換器に応用する可能性を示唆している. 本論文では, 完全埋め込み型を例にとり, 屈曲方向に対する欠損部の位置の選択に注意しながら, 側壁のラフネスの影響を加味して偏波変換特性を詳細に議論する.

2. 本論

図 1 に取り扱う構造の一例を示す. コアおよびクラッドの屈折率をそれぞれ, $n_{co} = 3.476$ (Si), $n_{cl} = 1.444$ (SiO₂) とする. コア幅を $w = 0.32 \mu\text{m}$ とする. 偏波変換部では導波路の角を直角に切り取り, 欠損部を設ける. 図 1(b) では, 内側欠損の例を示している. 残留部の幅を $\gamma = 0.18 \mu\text{m}$ としている. また偏波変換部の長さ z_g は固有モード解析より最適な値にする. 屈曲半径は R_c とする. また屈曲方向は図 1 の ϕ 方向で

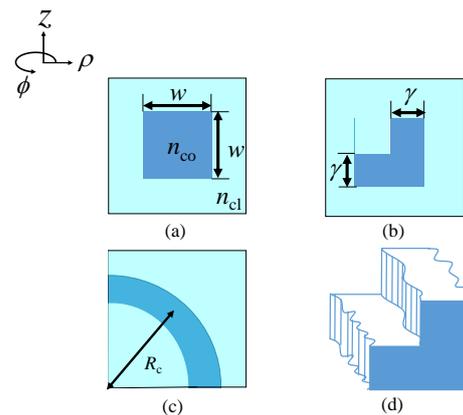


図 1 構造. (a) 入力導波路, (b) 変換導波路, (c) ρ - ϕ 断面, (d) 変換導波路の拡大図

ある. 波長は $\lambda = 1.55 \mu\text{m}$ に選び, 屈曲導波路の固有モードを入射する. 各側壁面に与えるラフネスは, 標準偏差 $\sigma = 10 \text{ nm}$ で 3 種類の異なる乱数を用いて発生させ, ラフネスの相関長は, $L_{cor} = 50 \text{ nm}$ とする [6]. 50 nm の相関長は, 実際の製造工程でしばしば報告されている値である.

はじめに, 屈曲方向に対する欠損部の位置について議論する. まず, 屈曲方向に対して内側を欠損させたモデルの R_c に対する偏波変換長特性を図 2 に示す. 比較のために, 直線導波路型偏波変換器を $R_c = \infty$ と表示し, 赤破線で併記している. 図より, $3 \mu\text{m}$ を除いて偏波変換長が直線導波路より短いことがわかる. また, R_c が小さくなるにつれて偏波変換長が短くなる様子が観察できる. しかしながら, R_c が $5 \mu\text{m}$ より小

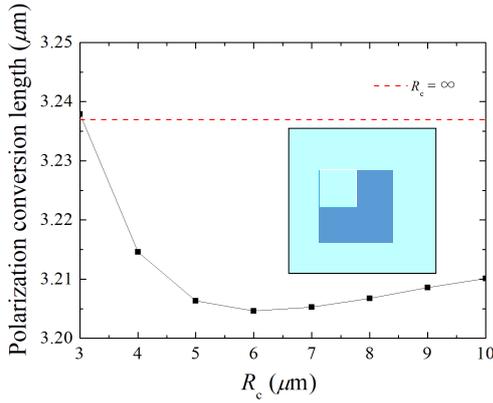


図 2 R_c に対する偏波変換長特性 (内側欠損)

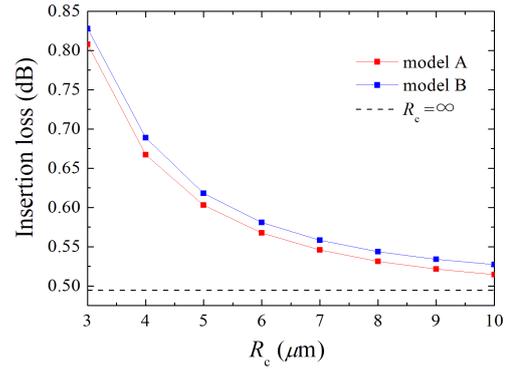


図 4 R_c に対する挿入損特性

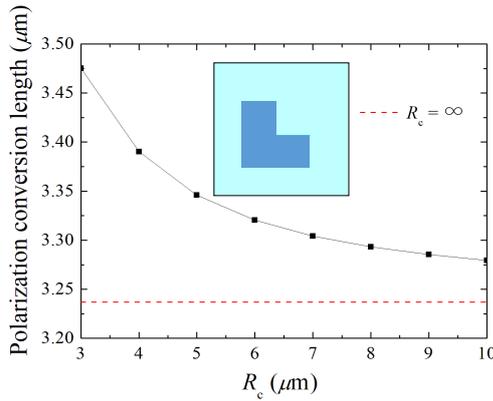


図 3 R_c に対する偏波変換長特性 (外側欠損)

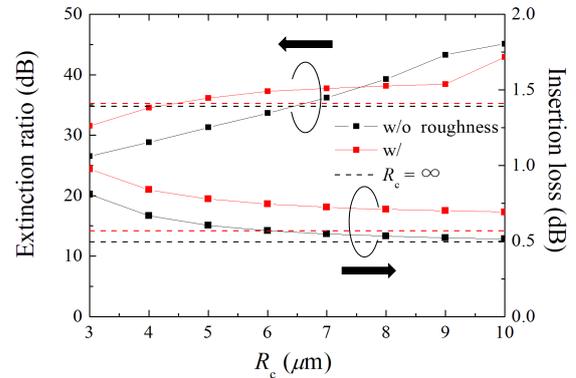


図 5 R_c に対する消光比と挿入損特性

さくになると、偏波変換長が長くなる。この傾向は、 R_c が極端に小さくなると、散乱損が増加するからであると考えられる。

屈曲半径に対して外側を欠損させたモデルの R_c に対する偏波変換長特性を図 3 に示す。図 2 と同様に、直線導波路型偏波変換器を赤破線で併記しているが。図より、 R_c が小さくなるにつれて偏波変換長が長くなる様子が観察できる。これは、屈曲方向に対して、外側が欠損しているため、界の漏れ出しが増えてしまうことが原因であると考えられる。

R_c に対する挿入損特性を図 4 に示す。ここで、屈曲方向に対して内側を欠損させた場合を model A、外側を欠損させた場合を model B とする。図より、どちらも R_c が小さくなるにつれて挿入損が大きくなる様子が観察できる。また、model A が model B に比べて挿入損が小さいことがわかる。以上のことから、屈曲方向に対して、内側を欠損させることで偏波変換長を短くすることを可能にし、挿入損を 1 dB 以下に抑えられることがわかる。

次に、側壁にラフネスを持つ屈曲導波路型偏波変換器について議論する。図 5 に、 R_c に対する消光比と挿入損を示す。比較のために、直線導波路型偏波変換器の結果を $R_c = \infty$ と表示し、破線で併記している。図より、ラフネスを考慮しても、25 dB 以上の高い消光

比が得られることが観察できる。また、挿入損は 1 dB 以下であることがわかる。

3. まとめ

導波路側壁にラフネスを持つ屈曲導波路型偏波変換器を検討した。屈曲方向に対して、内側を欠損させることで偏波変換長を短くすることができることを明らかにした。ラフネスを考慮しても、25 dB 以上の高い消光比が得られ、挿入損を 1 dB 以下にすることが可能であることを示した。

参考文献

- 1) Z. Wang and D. Dai, "Ultrasml Si-nanowire-based polarization rotator," J. Opt. Soc. Am. B, vol.25, no.5, pp.747-753, 2008.
- 2) 山内他, "非対称導波路型偏波変換器の光軸回転角の再検討," 信学論 C, vol.J105-C, no.3, pp.95-103, 2022.
- 3) 小林他, "側壁のラフネスの相関長が導波路型偏波変換器に及ぼす影響," 信学ソ大, C-3/4-30, 2022.
- 4) J.Yamauchi et al., "Wavelength characteristics of a waveguide polarization converter with sidewall-roughness," Optical Wave and Waveguide Theory And Numerical Modelling, p.91, London, April 2015.
- 5) 朝生他, "屈曲 Si 細線導波路の側壁におけるラフネスの影響," 信学ソ大, C-3-37, 2017.
- 6) J. J. Wu, "Simulation of rough surfaces with FFT," Tribol, Int. vol.33, no.1, pp.47-58, Jan. 2000.