法政大学学術機関リポジトリ

HOSEI UNIVERSITY REPOSITORY

PDF issue: 2025-07-15

Si細線平行導波路側壁のラフネスが伝搬特性 に及ぼす影響

浴, 一輝 / EKI, Kazuki

(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) 63 (開始ページ / Start Page) 1 (終了ページ / End Page) 2 (発行年 / Year) 2022-03-24 (URL) https://doi.org/10.15002/00025320

Si細線平行導波路側壁のラフネスが伝搬特性に及ぼす影響

Effect of sidewall roughness of Si-wire parallel waveguides on propagation characteristics

浴 一輝 Kazuki EKI 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 frequently yields sidewall roughness, which deteriorates the propagation characteristics. The purpose of this article is to evaluate the effect of sidewall roughness on the coupling length and the return loss in Si-wire parallel waveguides. For the TE mode, the coupling length decreases, while the return loss increases, owing to the effects of the roughness. For the TM mode, the effects of the roughness are relatively small, because of the field continuity condition at the interface between two different materials.

Key Words : Finite-difference time-domain method, Roughness, Correlation length, Coupling length, Return loss

1. はじめに

Si コアを空気界面から僅かに埋め込んだ導波路構造 は屈曲損の低減に有効である [1].他方,低屈曲損導波 路の作成過程においてコアの側壁にラフネスが生じる ことが問題となっている.これまでラフネスの標準偏差 と屈曲損の関係について明らかにされてきた [2].とこ ろが、ラフネスの相関長が伝搬特性に及ぼす影響につ いては未検討であった.そこで、著者らは基礎検討と して、平行導波路の片側の導波路側壁にのみラフネス を設けた構造を取り上げ、伝搬特性を評価してきた [3]. 本稿ではより現実的な状況を想定し、平行導波路の両 方の導波路側壁にラフネスを導入した構造の伝搬特性 を片側の側壁のみに存在する場合と比較しながら議論 する.結合長とリターンロスを評価し、ラフネスの相関 長との関係を明らかにする.

2. 本論

図1に解析する構造の鳥観図と*x*-*y*断面図を示す. 2本のSi細線導波路を平行に並べ,石英クラッドに僅かに埋め込んだ直線導波路である.便宜上,左の導波路 を#1,右側を#2とする.本稿ではそれぞれの導波路 側壁に異なるラフネスを導入する.側壁に与えるラフ ネスは,式(1)で与える[4].

$$z_p = \sum_{k=0}^{M-1} \sqrt{\tilde{S}_k} \exp\left(i2\pi \left[\phi_k + \frac{kp}{M}\right]\right)$$
(1)
$$p = 0, 1, 2, ..., (M-1)$$



ここで、*M*は*x*方向のサンプル点数、 \tilde{S}_k はスペクトル 密度、 ϕ_k はランダムに選ばれた0から1の乱数である. ラフネスの標準偏差は製造過程で一般的に生じる値と して $\sigma = 10$ nm に選ぶ. ラフネスの相関長は、 $L_{cor} =$ 50 nm から 200 nm の範囲を取り上げる. Si 細線導波 路のコアの幅と高さはそれぞれ $w_{co} = 0.40 \ \mu m$, $h_{co} =$ $0.28 \ \mu m$ とし、埋め込み量は $d_{air} = 0.1 \ \mu m$ に選ぶ. 結 合長を正確に算出する為、右側の導波路は励振位置より $0.2 \ \mu m$ 先から設置する. 解析には直交座標系 FDTD 法 を使用し、#1 の導波路より直線導波路の固有モードを 励振する. 明記しない場合の動作波長は、 $\lambda = 1.55 \ \mu m$ とする.

はじめに,相関長が結合長に及ぼす影響を検討する. ラフネスの相関長に対する結合長を図2に示す.図より,TEモードの結合長がラフネスのない場合と比べて 短くなることが確認できる.また,TEモードでは相関



長が大きくなるにつれラフネスがない場合の値に漸近 している. これは,相関長が大きくなるとコア側壁がラ フネスのない導波路に近づくため,ラフネスの影響が 小さくなるからである. さらに,両方の導波路にラフ ネスがあるとその影響が大きくなるため,片方に導入 した場合より結合長が短くなる. 他方,TM モードで は,ラフネスがある場合でもほとんど結合長は変化し ない. これは,電界の主成分が導波路側壁に対して接 線成分であり,屈折率境界面で界の連続性が保たれる ことから,ラフネスの影響が抑制されるためと理解さ れる.

次に図 3 に結合長の波長特性を示す. ラフネスの相 関長は $L_{cor} = 100$ nm に固定する. 図より, TE モード では波長が短くなるほど,結合長が長くなるので,ラ スネスの有無の影響が大きくなることがわかる. 一方, TM モードでは結合長はほとんど変化しない. この理 由は図 2 と同様に界の主成分の向きから説明できる.

最後にリターンロス (RL) を検討する. RL の相関長 特性を図4に, 波長特性を図5に示す. 片側の導波路に ラフネスを導入した場合, TE モードでは相関長が大き くなるにつれて RL が低下している. 両方に導入した 場合でも同じような傾向が見られる. 他方, TM モー ドの RL は TE モードに比べて小さく, -22 dB 以下に 留まる. また, 両方の導波路にラフネスがあると, 片



図 5 RL の波長特性

方のみに導入した場合より, RL は悪化することがわかる. 図 5 の波長特性でも同様な傾向であるが, 波長に よっては例外的な値も生じており, 一貫性はない.

3. まとめ

Si 細線平行導波路の側壁にラフネスを導入し結合長 とリターンロス (RL) を評価 した. TE モードの結合 長はラフネスの影響を受け短くなることを示した. さ らに,波長が短くなるほど 結合長への影響が大きくな ることを見出した. 他方, TM モードの結合長は広帯 域にわたって変化しないことを明らかにした. RL は 相関長が大きくなるにつれ概ね減少するものの,波長 特性には一貫性がないと言える.

参考文献

- 朝生 龍也, 佐々木 陽太, 石黒 雄大, 山内 潤治, 中野 久 松, "強調された増幅係数を用いた Yee 格子型円筒座標 虚軸ビーム伝搬法による屈曲導波路解析,"信学論, vol. J102-C, no. 5, pp. 114-123, May 2019.
- 朝生龍也, 佐々木陽太, 山内潤治, 中野久松 "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.
- 朝生龍也,浴一輝,山内潤治,中野久松 "ラフネスが Si 細線導波路の伝搬特性に及ぼす影響,"信学ソ大, C-15-8, 2020.
- J. J. Wu., "Simulation of rough surfaces with FFT," Tribol. Int., vol. 33, no. 1, pp. 47-58, Jan. 2000.