

導波路型偏波変換器設計における 伝搬解析で決定される変換長の必要性

NECESSITY OF USING THE CONVERSION LENGTH DETERMINED BY THE FDTD-CW ANALYSIS
IN THE DESIGN OF A WAVEGUIDE-TYPE POLARIZATION CONVERTER

土方 裕貴

Hiroki HIJIKATA

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 simple method for evaluating a waveguide-type polarization converter with an asymmetric cross-section has been studied with an emphasis on the conversion length. We introduce the conversion length L_{c1} obtained with the FDTD-CW analysis instead of the conventional length L_c determined by the eigenmode analysis. We show the characteristics of L_{c1}/L_c as a function of wavelength and defect ratio. Two models are investigated, i.e., a completely buried type and a model loaded on a Si substrate. It is found that the introduction of L_{c1} allows highly accurate evaluation of the wavelength response in terms of the extinction ratio and the insertion loss, confirming a good correlation with the FDTD results.

Key Words : Polarization converter, Beam-propagation method, Finite-difference time-domain method

1. はじめに

屈折率差の大きい導波路で構成される光回路には、偏波依存性が無視できない問題がある。そこで、偏波を制御できる偏波変換器の重要度が高く、これまで多くの研究がなされている [1]-[3]。

偏波変換器の特性評価に用いられる FDTD 法は汎用性が高く、便利であるが、変換器の構造が大きくなるにつれて、必要なメモリ量、計算時間が無視できないようになる。他方、偏波変換効率の評価に、変換部の固有モード界を用いた簡易な式が提案されており、初期設計に広く利用されている [2]。変換特性を決定する重要なパラメータに、直交するモード間の位相差と変換部で生じる光軸回転角と伝搬定数の差によってできる偏波変換長がある。

小竹らは、光軸回転角の評価に励振効率を導入することで、固有モード界のみで精度良く偏波消光比と挿入損を算出する式を提示した [4]。また、固有モード解析で算出される変換長に僅かに修正を施すと、モデルによって起きていた消光比のピーク波長の位置での誤差が小さくなることを示した [4]。

本論文では、これをさらに発展させて、伝搬解析で決定される変換長 L_{c1} を導入することで、従来手法に比べ消光比特性をより正確に算出できる [5] ことを明

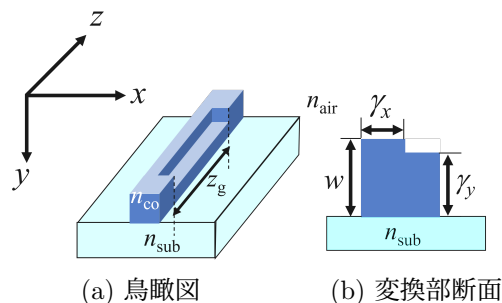


図 1 構造

らかにする。固有モード解析には Yee 格子に基づく虚軸 BPM を、伝搬解析には FDTD 法を使用する。

2. 本論

図 1 に取り扱う構造を示す。コアおよび基板の屈折率をそれぞれ、 $n_{co} = 3.476$ (Si), $n_{sub} = 1.444$ (SiO₂) とする。コア幅を $w = 0.34 \mu\text{m}$ 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。残留部の横幅を $\gamma_x = 0.19 \mu\text{m}$ 、縦幅を $\gamma_y = 0.28 \mu\text{m}$ としている。また偏波変換部の長さを $z_g = 5.3 \mu\text{m}$ と定義する。設計中心波長は通信波長帯において消光比が C バンドで単峰性となる帯域動作を考慮して $\lambda_c = 1.55 \mu\text{m}$ に選ぶ。

偏波変換長の決定は、消光比特性に大きく影響する。従来、変換長には固有モード解析で算出される L_c を用

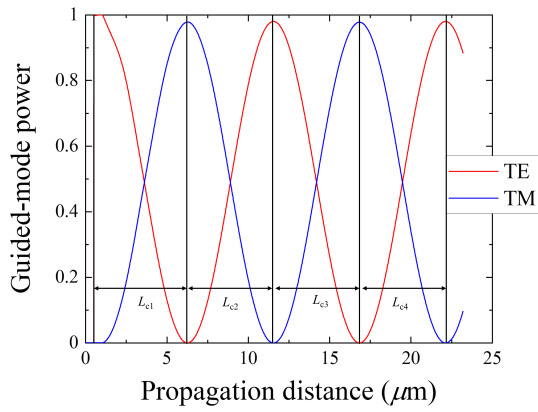


図2 導波モードパワーの振舞い

いていた。 L_c は2つの伝搬定数の差によって定まる。しかしながら、実際の伝搬解析では、必ずしも L_c が正確とは言えない。

図2に $\lambda_c = 1.55 \mu\text{m}$ における導波モードパワーの振舞いを示す。この時の入射されたTEモードパワーが、伝搬に伴いTMモードへ徐々に変換される様子がわかる。偏波変換が逐次行われる際の変換長を、それぞれ L_{c1} から L_{c4} と表記する。実際の変換長を表1に示す。この表に示す通り、最初の変換長は固有モード解析で得られる $L_c (\approx 5.2905.. \mu\text{m})$ よりも僅かに小さくなる。さらなる計算によると、変換が繰り返される過程で徐々に落ち着き、2度目以降の変換長は L_c となる。つまり最初の変換長 L_{c1} のみが L_c に比べ僅かに小さくなる。この原因は入力導波路と変換導波路との接続部で、不連続性のため、エバネッセント波が発生するためと考えられる。

表1 L_{c1} から L_{c4} までの長さ (μm)

L_{c1}	L_{c2}	L_{c3}	L_{c4}
5.26	5.28	5.29	5.28

動作波長を変化させた時の L_{c1}/L_c を図3に示す。赤線がTEモード入射の場合、青線がTMモード入射の場合を示している。この図から短縮比 L_{c1}/L_c は、波長依存性が小さいことがわかる。そのため、中心波長で一度FDTD解析を行い、短縮比を求めておけば、残りの波長の計算は固有モード解析のみで効率的(FDTDに比べ、1/300のCPU時間、1/250のメモリ)に行うことができる。

図4にTE波を入射した場合の消光比の波長特性を示す。赤字で示す基準となる値はFDTDのCW解析で得ている。CW解析の値は正確であるが、極めて計算効率が悪い。固有モード解析で得た結果を見ると、消光比を L_c を用いて評価した場合、概ねCWの結果と一致するが、ピーク波長に僅かな差異がある、これに対して L_{c1} を使用すると、さらにFDTDとの良好な

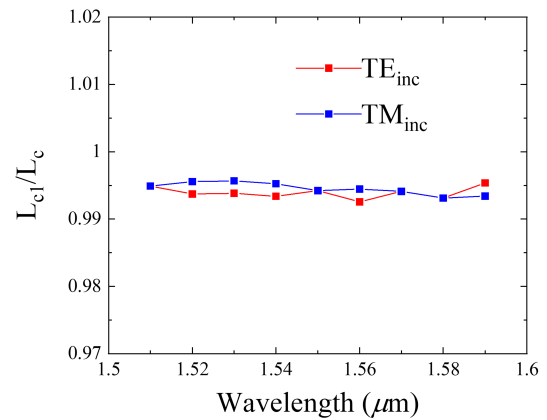


図3 L_{c1}/L_c の波長特性

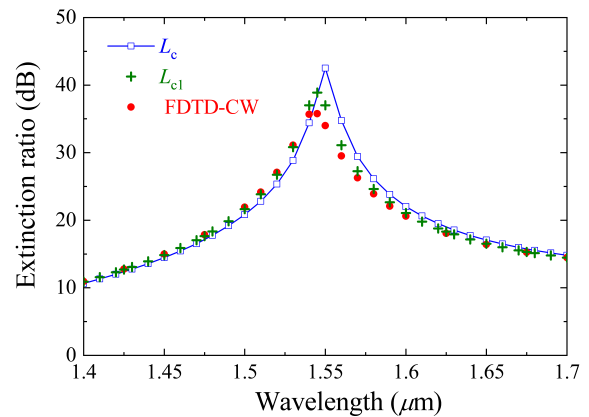


図4 消光比の波長特性 (TEモード入射時)

一致を確認できる。なお、完全埋め込み型でも類似の改善効果が得られることを確認している。

3. まとめ

Si 細線導波路で構成される偏波変換器において、導波路型偏波変換器を固有モード界に基づいて効率的に設計する際に、伝搬解析で決定される変換長 L_{c1} を導入すると、より精度が向上することを明らかにした。

参考文献

- 1) V.P. Tzolov and M. Fontaine, "A passive polarization converter free of longitudinally-periodic structure," Opt. Commun., vol.127, pp.7-13, Jun. 1996.
- 2) H. Deng *et al.*, "Design rules for slanted-angle polarization rotators," J. Lightwave Technol., vol.23, no.1, pp.432-445, Jan. 2005.
- 3) 山内潤治, 小竹翔太, 中野久松, "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, vol. J105-C, no.3, pp.95-103, Mar. 2022.
- 4) J. Yamauchi, S. Kotake, and H. Nakano, "An efficient technique for evaluating the characteristics of a polarization converter consisting of an asymmetric waveguide," J. Lightw. Technol., vol. 40, no. 13, pp.4344-4350, July 2022
- 5) 土方裕貴, 山内潤治, 中野久松, "導波路型偏波変換器設計における変換長の微修正" 信学ソ大, C-3/4-31, 2022.