

低屈曲損誘電体光導波路の開発・設計

山内, 潤治 / YAMAUCHI, Junji

(雑誌名 / Journal or Publication Title)

科学研究費助成事業 研究成果報告書

(開始ページ / Start Page)

1

(終了ページ / End Page)

16

(発行年 / Year)

2020-06-15

令和 2 年 6 月 15 日現在

機関番号：32675

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2017～2019

課題番号：17K06402

研究課題名(和文) 低屈曲損誘電体光導波路の開発・設計

研究課題名(英文) Development and design of a dielectric optical waveguide with reduced bend loss

研究代表者

山内 潤治 (Yamauchi, Junji)

法政大学・理工学部・教授

研究者番号：50174579

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,600,000円

研究成果の概要(和文)：屈折率差の大きい強導波路が屈曲した場合の損失を明らかにするために、円筒座標系フルベクトル虚軸ビーム伝搬法に強調した増幅係数を導入する手法を開発した。これを用いて、埋め込み型シリコン細線導波路のコア位置が伝搬特性に及ぼす効果を明らかにした。特にコアの縦横比が屈曲損に及ぼす効果を検討した。結果として、界分布のピーク値から5%に当たる位置に空気界面からの埋め込み量を選ぶと、効果的に屈曲損を低減できることを明らかにした。また、コア側壁のラフネスがどの程度屈曲損を増加させるかを明示した。加えて、直交座標系で屈曲導波路を解析する際に多用されている変換屈折率法に関して、より適切な変換法を明らかにした。

研究成果の学術的意義や社会的意義

屈曲光導波路は、あらゆる光伝送回路に使用されている。屈曲損を低減できると、回路のコンパクト化が達成できる利点がある。本研究では、主に通信波長帯で屈曲損低減効果を検討したが、可視光帯でも同じ理論が適用でき、応用範囲が広い。

市販のソフトウェアで屈曲導波路を解析するには、直交座標系で直線的に屈折率を変換する手法が多用されているが、本研究では、指数関数で近似する手法がより精度の高いことを明らかにした。市販のソフトウェアの計算精度を簡便に上げることができる。

研究成果の概要(英文)：The imaginary-distance procedure with an enhanced amplification factor is applied to the Yee-mesh-based implicit beam-propagation method in the cylindrical co-ordinate system. The developed technique is adopted to study the effect of core location in a buried Si-wire waveguide with various aspect ratios. Reduced bend loss is achieved when the air-cladding interface is placed at the position where the field amplitude decays to 5% of its peak. In comparison with the results obtained from the transformed index method in the rectangular co-ordinate system, we find the transformed technique based on an exponential function is superior to that obtained from a linear function.

We finally investigate the effect of the sidewall roughness on the propagation behavior. It is found that the bend loss becomes largest when the correlation length is around 100 nm, and that the polarization crosstalk remains rather small, compared with the crosstalk generated with a tilted sidewall.

研究分野：通信ネットワーク工学

キーワード：光回路 屈曲導波路 電磁波解析

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

(1) 誘電体で構成される屈曲導波路は、基本的な構造でありながら理論的に興味深く、これまで多くの研究論文がある。光回路をコンパクトにするために必須な基本的構成要素であることから、産業界でも大きな関心を集めてきた。例えば、90 度ベンド、S 字ベンドにおいて、屈曲によって生じる損失の低減に努力が払われてきた。屈曲損には、屈曲そのもので生じる純粋屈曲損と直線導波路との接続部で生じる遷移損とがあり、両者の低減が最大の関心事である。

(2) 過去の研究成果から、純粋屈曲損に関しては屈曲部の外側に低屈折率のトレンチを設ける手法[文献]が、また、遷移損に関しては接続部のコアをオフセットする手法[文献]が提案されており、実用化されている。しかしながら、申請者の取り組みを含め、過去の研究の殆どは、光導波路の回路パターンに着目し屈曲損を低減する試みであった。導波路コア近傍の断面構造に着目した研究は皆無であり、いわば盲点であった。この観点から申請者は、石英系導波路コアの埋め込み位置に、屈曲損が最小となる最適値が存在することを発見し、その動作メカニズムを突き止めた[文献]。提案構造は、TE と TM モードの性質の差異で生じる偏波依存損も同時に低減できる特長がある(3次元導波路では、純粋な TE、TM モードは存在しないが、簡便のため、本研究ではこれらの標記を用いる)。

(3) その後、考えを一步進め、埋め込み型導波路のコアの上部に部分的にクラッドを積層することのみで、屈曲損を更に低減できることを見出し、特許出願した。引き続き、電子情報通信学会でも発表し、国際学会からは招待講演の依頼も受けた。構造パラメータを詳細に検討すれば、構造を最適化できるとの見通しを得た。

(4) 他方、産業界からは、実用化が迫ってきているシリコン細線導波路における屈曲損低減法の問い合わせを頻繁に受けるようになった。シリコン細線導波路は、石英系導波路とは異なり、コアとクラッドの屈折率差が大きい強導波路である。理論的には低屈曲損であるはずであるが、実際に製作する企業では無視できない屈曲損が出現する課題に直面し、かつその挙動が従来の概念では説明できないとの指摘がある。申請者は挙動が複雑となる要因にコア側壁のラフネスの影響があると推察している。これまでシリコン細線導波路に関しては、申請者は、別の観点で偏波変換器を考案してきている。その際、側壁のラフネスが無視できない影響を及ぼすことに気づき、考察の一部を国際会議で発表してきた。本研究では、コア側壁のラフネスを完全に考慮に入れて、屈曲損を評価し、ラフネスの許容範囲に関して設計指針を与えていく。

(5) 石英系導波路は、コアとクラッドの屈折率差が小さい。そのため、屈曲導波路の解析手法としては、直交座標系において、直線導波路に変換された屈折率分布を施す近似的手法が有効であることが知られてきた。しかしながら、シリコン細線導波路で屈曲半径が極端に小さい場合には、円筒座標系での検討が不可欠である。申請者は最近、屈曲導波路において観察される漏れ波を有する固有モードを解析し得る、強調された増幅係数を有する BPM を開発し、円筒座標系に拡張しつつあった。

2. 研究の目的

(1) 石英系導波路において有効性が見出されていた、コアを空気界面からわずかに埋め込む方法が、シリコン細線導波路においても有効であることを明らかにする。単純な構造で屈曲損を低減できることを見出し、コアのアスペクト比が及ぼす効果を明らかにする。特に、コアの埋め込み量をどのように決定するかを指針を明示する。コアの上部に局部的にクラッドを設けるもう一つの構造に関しては、局部的クラッドの厚さ、幅などのパラメータが及ぼす影響を把握しておく必要がある。局部的クラッドは製作時に台形形状となることが想定されるので、その寸法に関しても考察を加える。後者の構造に関しては、紙面の都合上、申請中の特許に詳述することとし、本報告では割愛する。

(2) 検討には、開発したばかりの強調された増幅係数を用いた虚軸ビーム伝搬法(BPM)を使用する。この手法は、有限差分時間領域(FDTD)法との相性がよい Yee 格子からなるフルベクトル解析であり、精度良く屈曲損を評価できる特長がある。本研究では、開発された BPM を円筒座標系に拡張する。屈曲半径が大きいときであれば、変換屈折率(TI)法を利用して屈曲導波路を直線導波路に精度良く変換できる。市販のソフトウェアの殆どがこの機能を搭載している。しかしながら、強導波路で屈曲半径が小さくなると、TI 法の適用範囲を超え、精度が悪化する。そこで厳密に円筒座標系でも定式化を行い、TI 法の使用限界を明らかにしていく。現在最も利用されている TI 法の使用限界を明確にすることでこの検討は意義深い。

(3) 最後の目的は、シリコン細線導波路のような強導波路が屈曲した際に、コア側壁のラフネスが及ぼす効果を明らかにすることである。申請者は、すでに直線形状のシリコン細線導波路、偏波変換導波路においては、伝搬損に関して基礎検討が終了している。第一の目的で開発する、新たな虚軸 BPM を使用すれば、屈曲半径の大小に関わらず、屈曲導波路の固有モードを評価でき、FDTD 法の援用によりラフネスの効果を調査できるようになると期待される。予備検討による

と、企業が作製し、損失が問題となっている屈曲半径では、屈曲損の無視できることが分かっている。従って、屈曲導波路のコア側壁に生じているラフネスにより散乱損が生じ、屈曲損の原因となっているとの見通しを得ている。特に、直線導波路での散乱損に比べ、屈曲導波路では、電界振幅が不連続となる外側の側壁の影響が大きいと予想している。本研究では、ラフネスを乱数と標準偏差を用いて表現し、相関長の影響も考慮に入れて損失を評価する。学会等を通じて、企業側から、5nm~10nmの標準偏差を有するラフネスが作製限界であるとの情報を得ているので、この値を目安として、屈曲損を明らかにしていく。

3. 研究の方法

(1) 固有モードの解析には、Yee格子に基づく虚軸 BPM を用いる。屈曲導波路の検討では、直交座標系の利用には限界がある。さらに、導波路を屈曲させると、屈曲の外側に漏れ波が生じ、通常の虚軸 BPM では正しい解析ができない。そこで本研究課題では、強調された増幅係数を円筒座標系虚軸 BPM に適用する手法を開発した。強調された増幅係数を利用すると、所望の漏れモードを短時間で抽出できる利点が生まれる。さらに伝搬特性の検討では、円筒座標系 FDTD 法を採用する。同じ Yee 格子で構成されているので、数値精度が同じであり、かつ、組み合わせることを容易にする利点がある。

(2) 放射波は、計算領域端に向かって伝搬する。領域端には完全整合層を設置し波を吸収させ、安定した解析を保つ。放射波が当たらない計算領域端は、解析を簡単にするため完全導体としている。計算刻み幅は、 $\Delta z = 0.01 \mu\text{m}$ 、実軸の伝搬方向刻み幅は、 $\Delta x = 0.01 \mu\text{m}$ に固定する。

4. 研究成果

(1) 図 1 に検討する導波路構造と、その断面図を示す。シリコンコアが石英基板に埋め込まれた構造であり、コアとクラッドの屈折率は、それぞれ、 $n_{\text{co}}=3.476$ 、 $n_{\text{cl}}=1.444$ とする。この場合、比屈折率差は 41% となる。コアの高さと幅を h_{co} と w_{co} と定義し、コア幅は標準的な $w_{\text{co}}=0.4 \mu\text{m}$ と固定する。

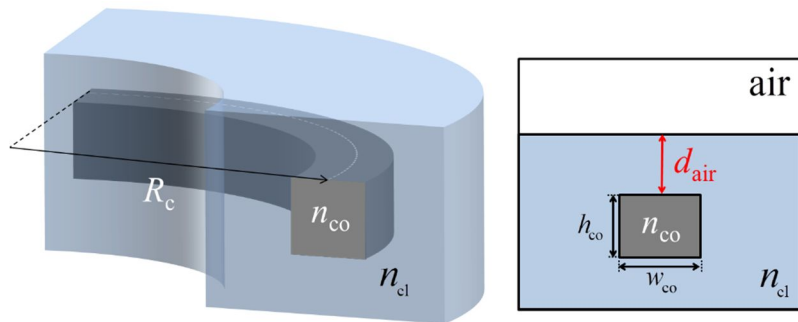


図 1 導波路構造の全体図と断面図

空気/クラッド境界からコアの上表面までの距離を d_{air} と定義する。動作波長は $\lambda = 1.55 \mu\text{m}$ とし、屈曲半径は $R_c = 2 \mu\text{m}$ とする。ここで、屈曲半径は座標軸原点からコアの中心までの距離として定義している。

(2) まず、 d_{air} が純粋屈曲損 (PBL) に及ぼす効果を検討する。90 度ベンドを考察することにする。図 2 は TE と TM モードの PBL のふるまいを d_{air} の関数として示している。コアの高さは、 $h_{\text{co}}=0.26, 0.30, 0.40 \mu\text{m}$ を選択している。図より TE モードの PBL は d_{air} に関わらず低くとどまる。これに対して、TM モードでは適切な d_{air} の選択により PBL が最小値となることが見出せる (図 2 の赤縦破線)。すなわち、シリコン細線導波路のような強導波構造においても、弱導波構造で見出されたように、適切なコア埋め込み量の存在することが明らかになった。

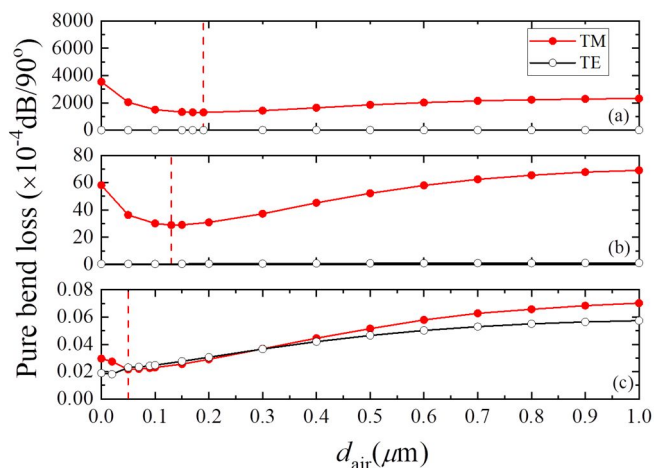


図 2 コアの埋め込み量に対する純粋屈曲損 ($w_{\text{co}}=0.40 \mu\text{m}$)
(a) $h_{\text{co}}=0.26 \mu\text{m}$ (b) $h_{\text{co}}=0.30 \mu\text{m}$ (c) $h_{\text{co}}=0.40 \mu\text{m}$

(3) 図 2 に示したように TE モードの PBL は十分に小さいので、次に TM モードにおいて、コアのアスペクト比 ($h_{\text{co}}/w_{\text{co}}$) が最小 PBL に及ぼす効果を調査する。図 3 はコアアスペクト比の関数として最小 PBL とその際の最適な d_{air} を共に示している。対応する h_{co} も併せて表示している。図より、アスペクト比の増加により、PBL の減少する傾向が見出せる。さらに、最適な d_{air} はアスペクト比が増加するにつれて減少する傾向があることも見出せる。これらの事実は、アスペクト比の増加により、界がコア内により強く局在し、空気/クラッド境界への界のエバネッセンス

が強まることで説明される。それゆえ、コアの最適位置を界のエバネッセンスの強さによって説明し得ると期待される。

(4) ついでながら、偏波依存損 (PDL) をできる限り最小に留めるためには、正方形断面のコアを選ぶことが、コア形状の対称性の観点からよい選択となる。しかしながら、FDTD 法を用いた伝搬解析によると、アスペクト比が 0.75 であっても、PDL を 0.0029dB/90° に抑圧されることが確認された。

(5) 図 2 と図 3 の結果に基づくと、屈曲損低減の観点から、空気/クラッド境界でのエバネッセント界振幅には適切な値の存在することが示されている。すでに申請者のグループは、石英系弱導波路においては、界のピーク値より、約 12% まで減衰した位置に、コア/クラッド境界を設置すると最も屈曲損を低減できることを明らかにしている。本研究では、強導波のシリコン細線導波路において同様なガイドラインが存在することを明らかにする。

(6) 図 4 は TE、TM 両モードにおいて PBL が界の振幅比の関数としてどのように変化するかを明らかにしている。界振幅比の表示には磁界の主成分を用いている。横軸で 0% と表示された位置は完全埋め込み型導波路のモデルに対応する。TM モードの PBL は、界振幅のピーク値から約 5% の位置にコア上面を設置すると、損失が最小になることが見出せる。他方、TE モードでは、この検討範囲では、界振幅値の増加とともに、PBL は単調に減少する。TE モードの PBL はこの検討範囲で最小を呈さないが、TE モードの PBL は TM モードに比べて十分に小さく無視できる (図 2 参照)。以上の結果から、コアアスペクト比が 0.65 ~ 1.00 の範囲では、コアの最適埋め込み量は、空気/クラッド境界で界振幅がピーク値から約 5% に減衰する位置にあることが見出せる。

(7) 次に、変換屈折率 (TI) 法の精度について検討する。TI 法は、直交座標系において、屈折率分布を等角写像法により変換し屈曲導波路を解析する方法である。この手法は 2 次元導波路では厳密に成立する。他方、3 次元導波路では近似的であるが、弱導波路では精度の良いことが知られている。しかしながら、本研究のシリコン細線導波路のように、比屈折率差の大きな場合には、これまで十分議論がなされていなかった。

(8) 本研究では、図 1 の構造において、TI 法の考えに基づく手法の中で最も精度の良い方法を見出す。但し、この検討では、 $d_{\text{air}}=$ の場合を取り上げる。

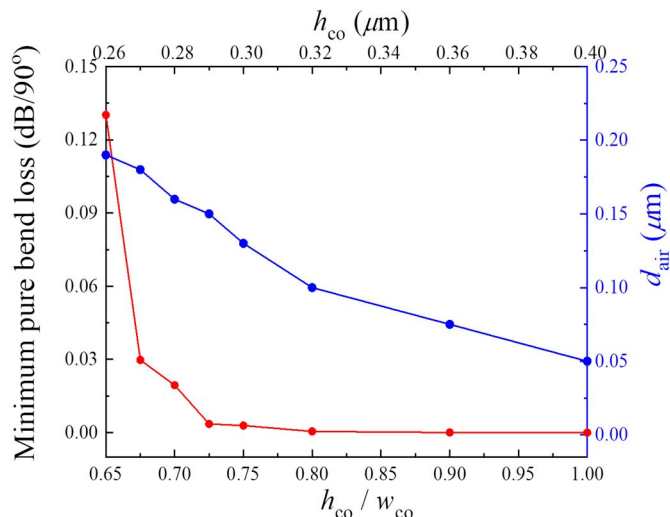


図 3 アスペクト比に対する最小純粋屈曲損と その場合の埋め込み量 (TM モード)

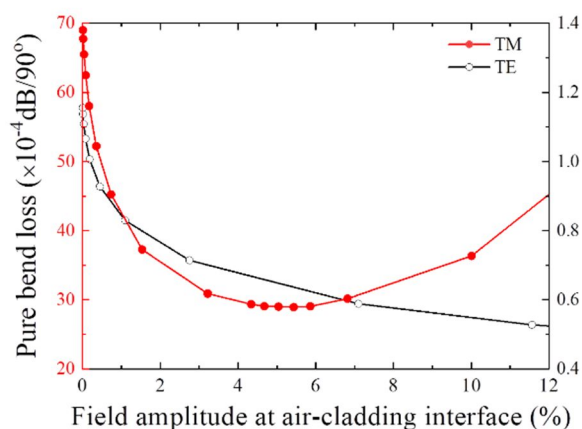


図 4 空気/コア境界での界振幅比 (ピーク値に対する%) の関数で示した 純粋屈曲損 ($h_{\text{co}}/w_{\text{co}}=0.75$)

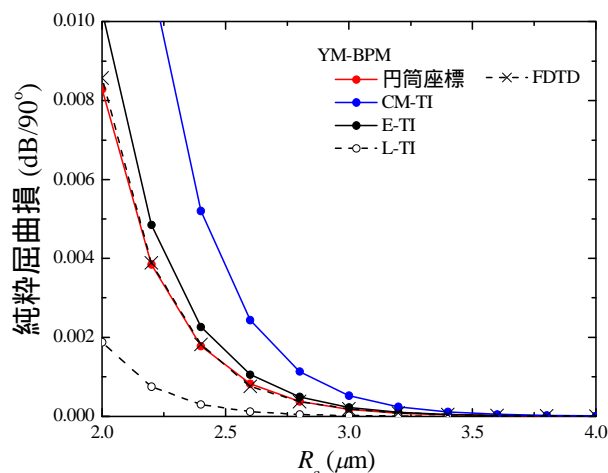


図 5 各手法における屈曲半径に対する 純粋屈曲損の比較

(9) まず、検討する手法を整理する。2 次元構造における等角写像法に基づく TI 法を盲目的に

3次元導波路に使用する場合をCM-TI法と表記する。この場合コア幅が変化する。他方、コア幅を変えず、CM-TI法を線形近似する方法をL-TI法と呼ぶ。さらに、CM-TI法から屈折率分布が指数関数で表される要素のみを取り出し、 $n_E = n \exp(x/R_c)$ と変換する方法をE-TI法と呼ぶ。ここで n は実際の屈折率分布である。

(10) 図5に屈曲半径 R_c に対する90度ベンドの純粋屈曲損を示す。比較として、厳密な解を与える円筒座標系の結果を赤字で示している。結果として、E-TI法が円筒座標系の厳密解と最も近い値を示すことが分かる。一方、CM-TI法では過大評価となっている。これとは逆に、L-TI法では過小評価となっている。

(11) 図示こそしないが、実効屈折率の評価においても、CM-TI法では誤差が大きく、E-TI法が比較的良い近似を与えることが分かった。

(12) 以上のことから、TI法を用いる際には、従来多用されているL-TI法よりも、E-TI法が優れていることがわかる。弱導波路で生じるような屈曲半径が大きい場合には、実質的に指数関数と線形関数は同一になるので、E-TI法を標準として用いておけば屈曲半径の大小にかかわらず合理的な結果が得られることになる。なお、TMモードにおいても同様な結論になることを確認している。さらに、文献で扱われたストリップ導波路を検討した結果、TI法の近似精度が本構造と同様な傾向となることがわかった。加えてE-TI法が良い近似を与える事実も確認できた。要約すると、強導波路において、E-TI法の有効性が見出せた。

(13) 本研究では、製造上、屈曲した導波路端面に生じるラフネスが及ぼす効果についても検討した。ラフネスの粗さを標準偏差で定め、かつ相関長を導入しモデル化をした。典型的な例として、乱数に基づき標準偏差を $\sigma = 10\text{nm}$ と固定して計算を行った。得られた知見をまとめると以下のようなになる。

- ・ラフネスの影響は、TEモードの伝搬特性において、TMモードに比べて顕著に現れる。これは、電界の法線成分がラフネス界面で強く作用（空気側で振幅が増大）するためと解釈される。
- ・伝搬損は、相関長が0nmから大きくなるにつれて増大し、100nm付近でTE、TMモードともに極大値を生じる。実際の製造で生じるラフネスの相関長は50nm前後であることから、ラフネスが伝搬損に及ぼす影響を無視できないことが見出せた。
- ・ラフネスが偏波クロストークに及ぼす効果も検討した。コアの片面および両面にラフネスが存在する場合をそれぞれ検討し、90度ベンドにおける偏波クロストークは20dB前後であることが明らかになった。相関長がクロストークに及ぼす影響は小さく、コア断面が台形化することのほが、ラフネスに比べて偏波クロストークへの影響が大きいことも見出した。

< 引用文献 >

- M. Rajarajan, S. S. A. Obayya, B. M. A. Rahman, K. T. V. Grattan, and H. A. El-Mikati, "Design of compact optical bends with a trench by use of finite-element and beam-propagation methods," *Appl. Opt.*, **39**, 27, 4946-4953 (2000).
- M. Galarza, J. Moreno, M. Lopez-Amo, I. Christiaens, D. V. Thourhout, and R. Baets, "Simple low-loss waveguide bends using ARROW effect," *Appl. Phys. B.*, **80**, 6, 745-748 (2005).
- Y. Nito, B. Yatabe, J. Yamauchi, and H. Nakano, "Reduction in bend losses of a buried waveguide on a silicon substrate by adjusting the core location," *J. Lightw. Technol.*, **34**, 4, 1344-1349 (2016).
- K. Kakihara, N. Kono, K. Saitoh, and M. Koshiba, "Full-vectorial finite element method in a cylindrical coordinate system for loss analysis of photonic wire bends," *Opt. Express*, **14**, 23, 11128-11141 (2006).

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計9件（うち査読付論文 9件 / うち国際共著 0件 / うちオープンアクセス 1件）

1. 著者名 山内潤治、佐々木陽太、中野久松	4. 巻 J102-C
2. 論文標題 金属ストリップを装荷した埋め込み型Si細線導波路における偏波変換器	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 電子情報通信学会論文誌C	6. 最初と最後の頁 255-263
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -
1. 著者名 J. Shibayama, T. Hara, M. Ito, J. Yamauchi, and H. Nakano	4. 巻 29
2. 論文標題 Improved cylindrical HIE-FDTD method and its application to a metal disk-type surface wave splitter	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 IEE Microwave and Wireless Components Letters	6. 最初と最後の頁 177-179
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1109/LMWC.2019.2896004	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -
1. 著者名 山内潤治、中川雄斗、中野久松	4. 巻 J103-C
2. 論文標題 広帯域に動作するL字Si細線導波路型偏波変換器の設計法	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 電子情報通信学会論文誌C	6. 最初と最後の頁 -
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -
1. 著者名 J. Yamauchi, S. Ohki, Y. Nakagomi, and H. Nakano	4. 巻 E101-C
2. 論文標題 Analysis of a plasmonic pole-absorber using a periodic structure	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 IEICE Transactions on Electronics	6. 最初と最後の頁 495-500
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1587/transele.E101.C.495	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 -

1. 著者名 J. Shibayama, T. Hara, M. Ito, J. Yamauchi, and H. Nakano	4. 巻 E101-C
2. 論文標題 Frequency-dependent LOD-FDTD method in cylindrical coordinates	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 IEICE Transactions on Electronics	6. 最初と最後の頁 637-639
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1587/transele.E101.C.637	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 M. Ito, J. Shibayama, J. Yamauchi, and H. Nakano	4. 巻 60
2. 論文標題 Imaginary-distance beam-propagation method based on Yee's mesh in cylindrical coordinates	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Microwave & Optical Technology Letters	6. 最初と最後の頁 2918-2922
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1002/mop.31439	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 朝生龍也、佐々木陽太、石黒雄大、山内潤治、中野久松	4. 巻 J102-C
2. 論文標題 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	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 電子情報通信学会論文誌C	6. 最初と最後の頁 114-123
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 J. Shibayama, M. Ito, J. Yamauchi, and H. Nakano	4. 巻 29
2. 論文標題 A fundamental LOD-FDTD method in cylindrical coordinates	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 IEEE Photonics Technology Letters	6. 最初と最後の頁 865-868
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) DOI 10.1109/LPT.2017.2693293	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

〔学会発表〕 計40件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 7件）

1. 発表者名 T. Aso, T. Ishiguro, J. Yamauchi, and H. Nakano
2. 発表標題 Effects of core aspect-ratio in bent buried Si-wire waveguides
3. 学会等名 Microoptics Conference (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 J. Yamauchi, Y. Nakagawa, and H. Nakano
2. 発表標題 Widening the polarization conversion properties of an L-figured Si-wire waveguide
3. 学会等名 Microoptics Conference (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 中川、山内、中野
2. 発表標題 L字型Si細線導波路からなる偏波変換器の広帯域化
3. 学会等名 電子情報通信学会光エレクトロニクス研究会技術研究報告
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 中川、山内、中野
2. 発表標題 広帯域に動作するL字型Si細線導波路からなる偏波変換器の設計指針
3. 学会等名 電子情報通信学会エレクトロニクスソサイエティ大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 山内、小島、中野
2. 発表標題 Si細線導波路とスポットサイズ変換器の突き合わせ結合
3. 学会等名 電子情報通信学会総合大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 中川、山内、中野
2. 発表標題 L字Si細線導波路型偏波変換器の正規化周波数特性
3. 学会等名 電子情報通信学会総合大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 石黒、朝生、山内、中野
2. 発表標題 屈曲した埋め込み型Si細線導波路における最適なコア位置に関する一考察
3. 学会等名 電子情報通信学会総合大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 土屋、朝生、山内、中野
2. 発表標題 屈曲Si細線導波路側壁のラフネスの相関長が損失及び偏波クロストークに及ぼす影響
3. 学会等名 電子情報通信学会総合大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 中川、小竹、山内、中野
2. 発表標題 基板付きL字Si細線導波路型偏波変換器の広帯域化
3. 学会等名 電子情報通信学会総合大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 T. Aso, T. Ishiguro, J. Yamauchi, and H. Nakano
2. 発表標題 Reduction in bend loss of a Si-wire waveguide by adjusting the core location
3. 学会等名 The 26th International Workshop on Optical Wave & Waveguide Theory and Numerical Modelling (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 T. Aso, T. Tsuchiya, Y. Sasaki, J. Yamauchi, and H. Nakano
2. 発表標題 Polarization crosstalk generated in a bent Si-wire waveguide with sidewall roughness
3. 学会等名 Progress In Electromagnetics Research Symposium (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 朝生、石黒、佐々木、山内、中野
2. 発表標題 増幅係数を用いた虚軸ビーム伝搬法による屈曲導波路解析に関する一考察
3. 学会等名 電子情報通信学会光エレクトロニクス研究会技術研究報告
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 佐々木, 山内, 中野
2. 発表標題 金属ストリップを配置した埋め込み導波路における偏波変換器
3. 学会等名 電子情報通信学会光エレクトロニクス研究会技術研究報告
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 佐々木, 山内, 中野
2. 発表標題 長方形断面の埋め込み導波路における偏波変換器
3. 学会等名 電子情報通信学会ソサイエティ大会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 山内, 中川, 中野
2. 発表標題 Si細線導波路の側壁を傾斜させた偏波変換器
3. 学会等名 電子情報通信学会ソサイエティ大会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 朝生, 石黒, 山内, 中野
2. 発表標題 部分的にクラッドを積層した埋め込み型Si細線導波路
3. 学会等名 電子情報通信学会ソサイエティ大会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 山内, 土屋, 中野
2. 発表標題 側壁に傾き及びラフネスを有する屈曲Si細線導波路の偏波クロストーク
3. 学会等名 電子情報通信学会ソサイエティ大会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 朝生, 土屋, 山内, 中野
2. 発表標題 屈曲Si細線導波路の断面形状が偏波クロストークに及ぼす影響
3. 学会等名 電子情報通信学会総合大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 佐々木, 山内, 中野
2. 発表標題 埋め込み導波路における偏波変換器の挿入損低減
3. 学会等名 電子情報通信学会総合大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 朝生, 石黒, 山内, 中野
2. 発表標題 屈曲した埋め込み型Si細線導波路におけるコア縦横比の影響
3. 学会等名 電子情報通信学会総合大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 山内, 中川, 中野
2. 発表標題 広帯域に動作するSi細線導波路からなる偏波変換器のコア幅に関する一考察
3. 学会等名 電子情報通信学会総合大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 T. Aso, Y. Sasaki, H. Watanabe, J. Yamauchi, and H. Nakano
2. 発表標題 Development of an imaginary-distance cylindrical YM-BPM with an amplification factor
3. 学会等名 16th International Symposium on Microwave and Optical Technology (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 T. Aso, Y. Sasaki, J. Yamauchi, and H. Nakano
2. 発表標題 Analysis of a bent Si-wire waveguide in cylindrical coordinates
3. 学会等名 Progress in Electromagnetics Research Symposium (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 T. Aso, R. Sakaeyama, J. Yamauchi, and H. Nakano
2. 発表標題 Eigenmode analysis of a tube dielectric waveguide with a diamond-shaped core
3. 学会等名 Progress in Electromagnetics Research Symposium (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 伊藤、柴山、山内、中野
2. 発表標題 円筒座標系半陰的 F D T D 法の開発と周波数依存型への拡張
3. 学会等名 電子情報通信学会エレクトロニクスシミュレーション研究会技術研究報告
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 朝生、佐々木、山内、中野
2. 発表標題 屈曲Si細線導波路の側壁におけるラフネスの影響
3. 学会等名 電子情報通信学会ソサイエティ大会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 山内、佐々木、中川、中野
2. 発表標題 台形部が装荷されたSi細線導波路からなる偏波変換器
3. 学会等名 電子情報通信学会ソサイエティ大会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 朝生、吉野、山内、中野
2. 発表標題 強調された増幅係数を用いた虚軸 Y M - B P M の周期構造への応用
3. 学会等名 電子情報通信学会ソサイエティ大会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 朝生、石黒、山内、中野
2. 発表標題 コアの位置調整によるSi細線導波路の屈曲損低減
3. 学会等名 電子情報通信学会総合大会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 山内、中川、佐々木、中野
2. 発表標題 屈曲Si細線導波路からなる偏波変換器
3. 学会等名 電子情報通信学会総合大会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 山内、土屋、佐々木、中野
2. 発表標題 側壁にラフネスを持つ屈曲Si細線導波路で発生する偏波クロストーク
3. 学会等名 電子情報通信学会総合大会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 朝生、佐々木、山内、中野
2. 発表標題 屈曲Si細線導波路の側壁におけるラフネスの影響 ()
3. 学会等名 電子情報通信学会総合大会
4. 発表年 2018年

〔図書〕 計1件

1. 著者名 Hisamatsu Nakano, Jun Shibayama, and Junji Yamauchi	4. 発行年 2017年
2. 出版社 Springer International Publishing	5. 総ページ数 23
3. 書名 The World of Applied Electromagnetics, Chap.7	

〔出願〕 計1件

産業財産権の名称 屈曲部を有する誘電体光導波路	発明者 山内潤治、仁藤雄 大、渡邊裕人	権利者 同左
産業財産権の種類、番号 特許、特願2017-094009	出願年 2017年	国内・外国の別 国内

〔取得〕 計0件

〔その他〕

法政大学学術研究データベース http://kenkyu-web.i.hosei.ac.jp/Profiles/12/0001152/profile.html

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究分担者	柴山 純 (Shibayama Jun) (40318605)	法政大学・理工学部・教授 (32675)	