

L-45

誘電体円柱フォトニック結晶導波路における電磁波伝搬解析の基礎検証

Basic verification of electromagnetic wave transmission analysis in dielectric cylindrical photonic crystal waveguide.

○安藤 雄喜¹, 大西 峻平², 浜島 功², 田丸 幸寛², 増田 宗一郎², 呉 迪³, 大貫 進一郎⁴

*Yuki Ando¹, Ryohei Ohnishi², Kou Hamashima², Tomohiro Tamaru², Soichiro Masuda², Di Wu³, Shinichiro Ohnuki⁴

Abstract: In recent years, heat loss due to electric current in integrated electronic devices has become a crucial problem. Therefore, all optical systems in which electrical signal is replaced by optical signal play an important role. Photonic crystal waveguide is one of the key components in all optical systems and it is suitable for miniaturizing circuits.

In this report, wave propagation inside photonic crystal waveguide is analyzed using the finite-difference time-domain method. Characteristics of energy bifurcation are investigated for changing the width of waveguides.

1. はじめに

近年、電子回路の集積化に伴い、電子デバイスでの電流による熱損失が課題となっている。そのため電流を光に置き換えた全光システムが注目されている。全光システムは光によって情報を伝搬させるシステムであり、その中でもフォトニック結晶を用いた導波路は重要な構成素子の一つである^[1]。

本報告では、FDTD 法を用いてフォトニック結晶導波路内部を伝搬する電磁波を解析する。また導波路幅に対する伝搬エネルギーの検証を行う。

2. 解析手法

FDTD 法は式(1)および(2)に示す Maxwell 方程式を空間的、時間的に差分を行い、電磁界数値的解析をする手法である。

$$\nabla \times \mathbf{E} = -\mu \frac{\partial \mathbf{H}}{\partial t} \tag{1}$$

$$\nabla \times \mathbf{H} = \varepsilon \frac{\partial \mathbf{E}}{\partial t} + \mathbf{J} \tag{2}$$

ここで、 \mathbf{E} : 電界, \mathbf{H} : 磁界, ε : 誘電率, μ : 透磁率とする。z 方向にのみ電界が存在する TM 波に対して Maxwell 方程式を時間的に中心差分を用いて離散化を行うと次式が得られる^[2]。

$$E_z^n = E_z^{n-1} - \frac{\Delta t}{\varepsilon} \left(\frac{\partial H_y^{n-\frac{1}{2}}}{\partial x} - \frac{\partial H_x^{n-\frac{1}{2}}}{\partial y} \right) \tag{3}$$

$$H_z^{n+\frac{1}{2}} = H_z^{n-\frac{1}{2}} - \frac{\Delta t}{\mu} \left(\frac{\partial E_y^n}{\partial x} - \frac{\partial E_x^n}{\partial y} \right) \tag{4}$$

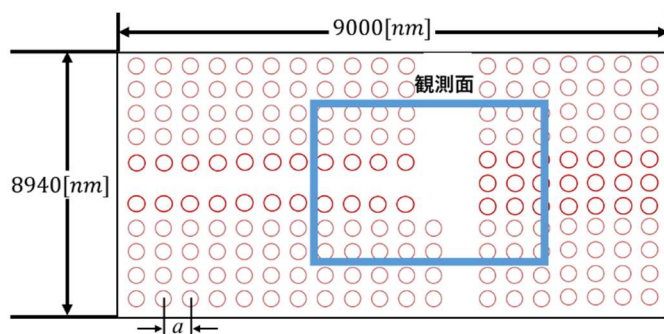
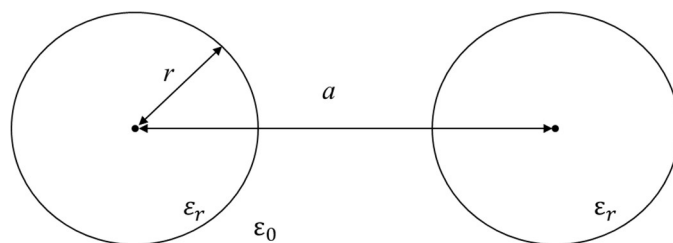


図 1. 誘電体円柱フォトニック結晶導波路の解析モデル



$a = 60 [nm]$
 $r = 17.85 [nm]$
 $\varepsilon_r = 11.56$

図 2. 誘電体円柱の構造のパラメータ

3. 解析結果

解析モデルを図 1 に示す. 解析モデルでは, $9.00\ \mu\text{m} \times 8.94\ \mu\text{m}$ の領域に図 2 に示すような GaAs を想定した比誘電率 11.54, 半径 $r=17.9\ \text{nm}$, 格子定数 $a=60.0\ \text{nm}$ の円柱を並べる^[1]. また導波路の分岐部分を図 1 の青枠内とし, 図 3 にその拡大図を示す. 入射波としてガウシアンビームを用い, フォトニック結晶導波路内の伝搬解析を行う. 同時に d_2 の大きさと伝搬する電磁エネルギーの量の関係性を確認する. $+x$ 方向の導波路を入力, $+y$ 方向の導波路を出力 1, $-y$ 方向の導波路を出力 2 とする. ここで入力での値を論文値^[1]と比較することにより, この結果の正当性を得ることができた.

図 4 は $t=354\ \text{fs}$ での電界のフィールド分布を示す. ここで d_2 と d_3 を同じ値にしている. 図から出力 1 と 2 に同じ量の電磁界のエネルギーが伝搬していることがわかる. またフォトニック結晶の円柱列の部分には電磁エネルギーの染み出しがないことを確認した.

次に図 5 は出力 1 の幅 d_2 を変化させた際のフィールド分布である. 分岐後の出力 1 には分岐後の電磁界のエネルギーの 96% が伝搬しており, 出力 2 には分岐後のエネルギーの 4% が伝搬している.

解析結果によりフォトニック結晶導波路は幅によって伝搬するエネルギー量を制御できることを確認した.

4. まとめ

本研究によってフォトニック結晶導波路での電界の伝搬を確認することができた. これによって導波路の幅とエネルギーとの関係性と今回の解析の正当性を確認した.

謝辞

本研究の一部は, 科研費基盤(C)17K06401 および日本大学理工学部プロジェクト研究助成の援助を受けて行われた.

5. 参考文献

- [1] 納富雅也:「フォトニック結晶による光の制御」, NTT 技術ジャーナル, 2010-5
- [2] 宇野亨:「FDTD 法による電磁界解析及びアンテナ解析」, コロナ社.
- [3] 佐藤弘明, 吉田則信, 宮永喜一:「種々の媒質条件をもつ 2 次元フォトニック結晶光導波路の凝縮節点空間回路網による基本特性解析」, 電子情報通信学会論文誌, Vol. J84 C, No.10, 2001.

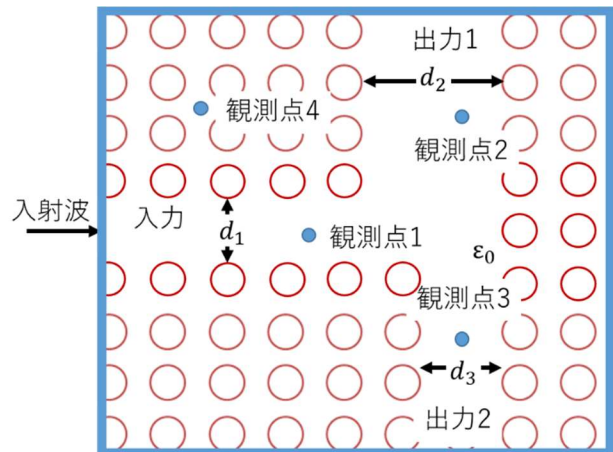


図 3. フォトニック結晶導波路の分岐部分の拡大図

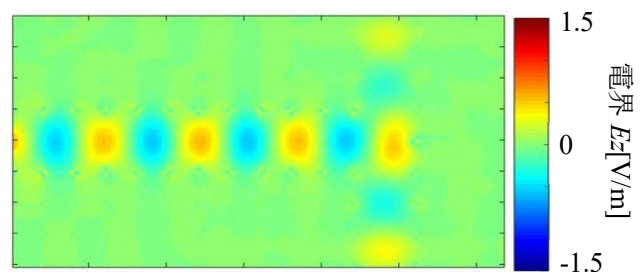


図 4. フィールド分布 ($t=354\ \text{fs}$, $d_2=96\ \text{nm}$)

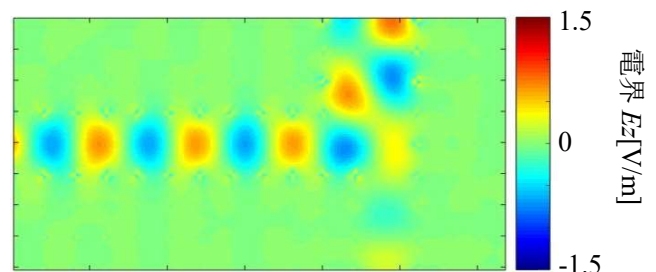


図 5. フィールド分布 ($t=354\ \text{fs}$, $d_2=156\ \text{nm}$)

- [4] 安藤雄喜, 大貫進一郎:「全光制御システムの開発に向けた電磁界シミュレーション」, 電気学会 2018 第 9 回学生研究発表会, 11-14, 2018-8.