

## スラブ型フォトニック結晶導波路の解析

Analysis of slab-type silicon photonic crystal waveguides

学生氏名：松村 真<sup>1)</sup>

指導教員 教員氏名：前山 利幸<sup>1)</sup>

1) 所属先：拓殖大学 工学部 電子システム工学科 前山研究室

キーワード：フォトニック結晶, FDTD 法,

### 1. 研究背景・目的

近年, 5G 通信を超える超高速・超大容量通信の B5G/6G 通信を実現するにあたりテラヘルツ帯域 (0.1~10.0THz) の使用が検討されている. テラヘルツ帯は産業的には未開拓の領域であるため, 注目を集めている. 従来の伝送路をテラヘルツ帯に適用すると伝送高損失が増加するとともに, 精密加工が必要となり, 製作コストが高騰する. そこで低損失で低コストを実現するため, フォトニック結晶構造を用いた伝送技術の研究が盛んにおこなわれている [1]・[2].

本研究では, フォトニック結晶構造を利用した導波路の解析を行い, テラヘルツ帯で使用可能なシリコンフォトニック結晶導波路のモデル作成と評価を行う. 将来的にはフォトニック結晶導波路を用いたテラヘルツ帯でのアンテナ設計を目指す.

### 2. フォトニック結晶導波路

フォトニック結晶とは, 格子に周期的な屈折率分布をもつ機能材料であり, その分布が波長オーダーの周期的な構造を持つ. この構造の中では, 特定の周波数の電磁波が存在できない状態となり, フォトニックバンドギャップと呼ばれている. そこに, 意図的に局所的な周期性の欠陥を導入することで, 欠陥の近傍のみに電磁波が存在できるようになり, 導波路として設計したものがフォトニック結晶導波路である.

### 3. 解析モデル

300GHz の電磁波を伝送するスラブ型シリコンフォトニック結晶導波路のモデルを作成した. 解析モデルを図 1, 上から見たモデルを図 2 に示す. 解析には FDTD 法を用いた Remcom 社の電磁解析ソフト XFdtd を用いて解析を行った. 伝送路の上下方向は, 空気層とシリコン層の屈折率差で起こる全反射によって閉じ込めている. 水平方向はシリコン板に周期的な円柱状の穴を空け, スラブ型の配置にすることで閉じ込めている. スラブ型とは, 格子 (円柱状の穴) を頂点とした際に正三角形が成立するような配置のことを指している. また, 格子間の距離のことを格子定数という. 格子定数の値は [3] から引用し, 寸法定義は [4] から引用した. シリコンの比誘電率は [5] から引用した.

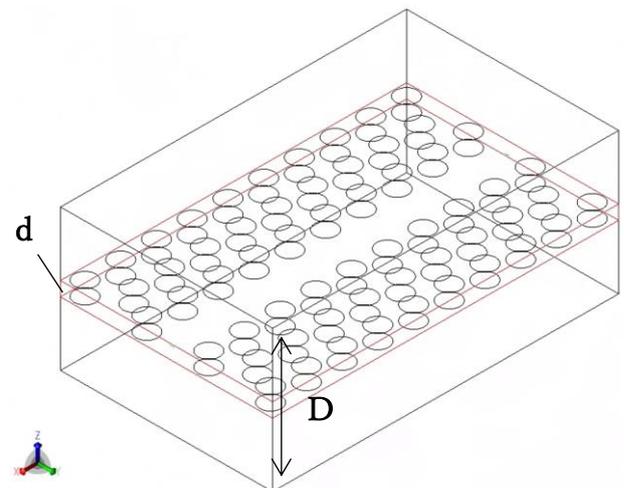


図 1 スラブ型フォトニック結晶導波路

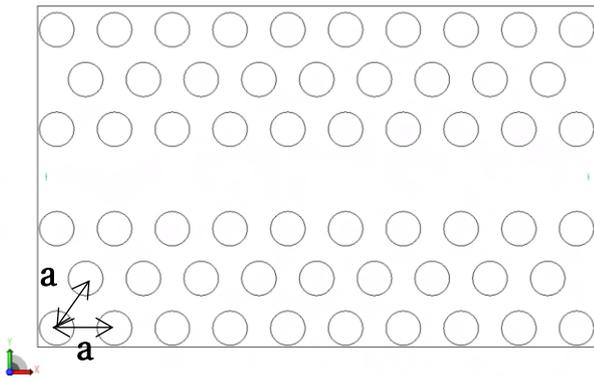


図 2 上から見たフォトニック結晶導波路

解析エリア  $x = 3.1\text{mm}$ ,  $y = 1.9\text{mm}$ ,  $z = 1.28\text{mm}$ , 格子定数  $a = 0.32\text{mm}$ , 円柱半径  $r = 0.096\text{mm}$ , シリコンの比誘電率  $\epsilon_r = 11.9$ , 空気層の厚み  $D = 1.28\text{mm}$ , シリコン層の厚み  $d = 0.128\text{mm}$  とした。

#### 4. 解析結果

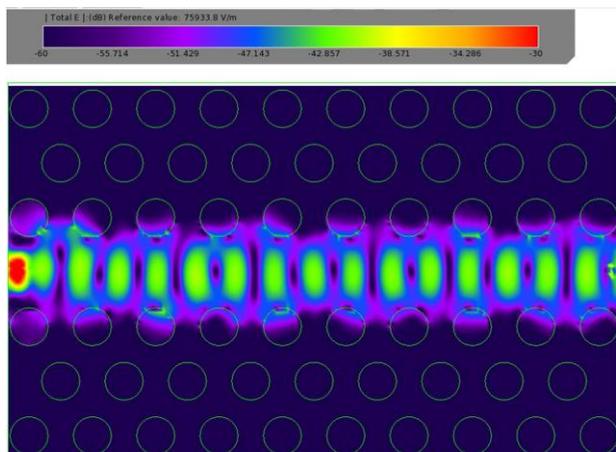


図 3 上から見た導波路内の断面図

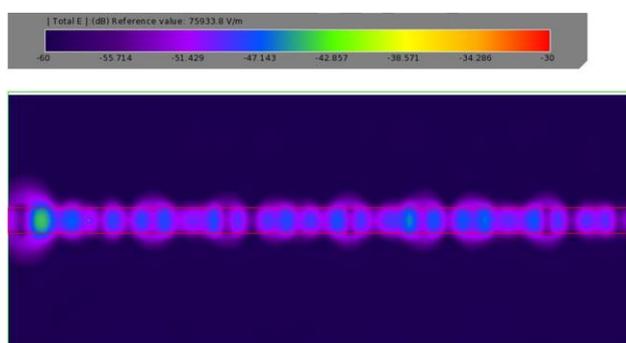


図 4 横から見た導波路内の断面図

解析した結果, 導波路内を上から見た断面図を図 3, 横から見た断面図を図 4 に示す. 導波路内から電磁波の漏れはほとんど見られなかったため, フォトニック結晶導波路として機能していることが確認できた。

#### 5. まとめ・今後の課題

FDTD 法を用いて 300GHz の電磁波を伝送するスラブ型シリコンフォトニック結晶導波路を解析し, 導波路として機能していることを確認することができた. 今後の課題としては, 新たなフォトニック結晶導波路を設計し解析すること, フォトニック結晶導波路のアンテナ化が今後の課題である。

#### 6. 参考文献

- [1] 笠松章史, 寶迫 巖”テラヘルツ波無線通信の研究開発動向” May 2018.
- [2] ローデシュワルツジャパン株式会社 “6G 向けのテラヘルツテクノロジーの基礎”, p30, September 2022.
- [3] 富士田誠之 “テラヘルツ波集積回路の実現へ向けたフォトニック結晶デバイスの研究” (一財) テレコム先端技術研究支援センター, 2015 AUTUMN <https://www.scat.or.jp/cms/wp-content/uploads/2020/06/fujita.pdf>
- [4] 吉野勝美, 武田寛之” フォトニック結晶の基礎と応用” pp62-64, コロナ社, March 2004.
- [5] 半導体単結晶-Si | 有限会社クリスタルベース (crystalbase.co.jp)
- [6] 篠崎弘多” フォトニック結晶を用いたミリ波/テラヘルツ波導波路モデルとミリ波導波路を使用するスロットアンテナの解析” 信学技報, vol. 123, no. 103, AP2023-44, pp. 70-75, 2023 年 7 月