

フォトニック結晶構造 THz アンテナの検討

Study of photonic crystal structure THz antenna

○黒川 真志路¹,大谷 昭仁²Mashiro Kurokawa¹, Akihito Otani²

Abstract: In this research, we focus on a system using continuous terahertz wave spectroscopy. Since this system consists of large parts such as horn antennas and waveguides, the processing cost is very high. Therefore, miniaturization and cost reduction became a problem, and a photonic crystal antenna was produced to realize them, and its operation as an antenna was confirmed at a specific frequency. However, since a clear design procedure has not been established, we aim to clarify the design procedure.

1, はじめに

近年の製薬業界において、製造する医薬品を高品質でより安全な医薬品に造り上げようという考えがなされている。^[1]

これまでの品質検査方法として抜き取り検査が行われている。その一例として、完成した錠剤を一部抽出、破壊することによりその成分や特性を分析し薬効が満足する良品か悪品かを判別する。そして、ロット内から抽出した一部から良、悪品の割合によって次の工程に進むか丸ごと破棄かが決められている。

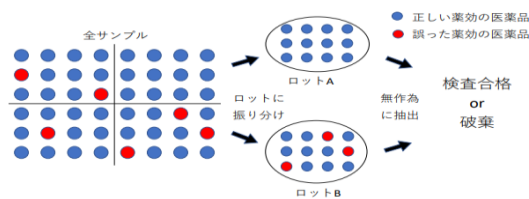


Figure1 抜き取り検査

しかし、この方法は統計的な検査方法である。よって、仮にロットから抽出した錠剤が悪品で、抽出された以外の錠剤が良品であっても抽出した錠剤の検査結果によって破棄されることで無駄になってしまうことが考えられる。そのため、医薬錠剤を非破壊で全数検査可能なシステムの実現要求は高い状況にある。

そこで、本研究では連続テラヘルツ波分光法を用いたシステムに着目する。連続テラヘルツ分光法に関してはホーンアンテナや導波管などの部品でシステムが構成されるため大型で加工コストがかかる。^[2]よって、小型化、低コスト化実現を目標に、先行研究では線状欠陥の他に単一欠陥を設けたフォトニック結晶をアンテナとし、特定周波数においてアンテナとしての動作を確認するまでに至っている。

先行研究において、フォトニック結晶の厚みは操作する波長の半波長から 1 波長程度までに制限されること、電界強度が現れる周波数を低くしたい場合はア

ンテナ欠陥を大きくする必要があることが確認された。しかしながら、特定周波数で動作させるという限定的なシミュレーションであったため、明確な設計手順が確立されていない状況にある。そこで、本研究では線状欠陥の他に単一欠陥を設けたフォトニック結晶が他の周波数でもアンテナとして動作するかしないかの確認を目的としてシミュレーションを行う。

2, 実験方法

本研究では EEM-FDM を用いてフォトニック結晶の構造やパラメータを設定して、導波路やアンテナとして設計した。

2-1 フォトニックバンドギャップの選択

フォトニック構造のバンドギャップマップより、TM 波の場合に満足する条件である式(1)と式(2)が与えられる。^[3]

$$0.18 \leq r/a \leq 0.495 \quad (1)$$

$$0.2 \leq a/\lambda \leq 0.55 \quad (2)$$

波長 $\lambda=300\mu\text{m}$ (周波数 1000GHz)とすると、式(2)より $60 \leq a \leq 165$ となる。次に格子定数は最小、最大を(2)に代入すると半径 $r=10.8\mu\text{m}, 29.7\mu\text{m}, 29.7\mu\text{m}, 81.65\mu\text{m}$ が求められる。

2-2 フォトニック結晶のパラメータの設定

先行研究の結果から測定対象の半波長の場合が適している可能性が高いため、フォトニック結晶の厚さは半波長とした。また、格子定数 a に関しては式(2)より求まる差、半径 r に関しては式(1)より求まる同じ値のものが適していると考えられる。

今回のシミュレーションではセルの数を 300 とし格子定数 a は先行研究 $100\mu\text{m}$ に対して $165\mu\text{m}$ 、半径 r は先行研究 $30\mu\text{m}$ に対して $10.8\mu\text{m}$ 、に限定しシミュレーションを行った。

また、Table1に各種材料を示す。

Table1 フォトニック結晶の材料設定

材料	比誘電率	導電率[S/m]	比透磁率	導磁率[1/Sm]
Si	11.9	2.00E-05	1	50000
Air	1	0	1	0

3, 結果

3-1 格子定数 a について

半径 r の値を 30 μm とし、格子定数 a の値を 100 μm と 165 μm に値を変えて行ったシミュレーション結果を Figure2・3 に示す。

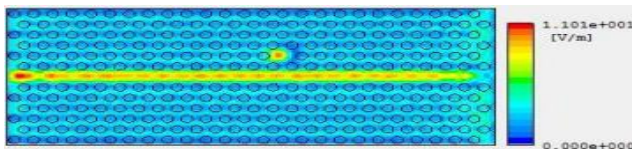


Figure2 格子定数(100 μm)

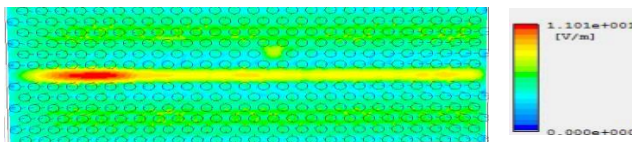


Figure3 格子定数(165 μm)

格子定数(100 μm)は導波路に沿ってテラヘルツ波が伝搬してアンテナの欠陥部分にテラヘルツ波が集められている。しかし、格子定数(165 μm)はアンテナの欠陥部分にテラヘルツ波が集められてない様子が分かる。そのため、格子定数は 100 μm(求めた 2 つの値の差)が適しているとわかる。

3-2 半径 r について

格子定数 a の値を 100 μm とし半径 r の値を 30 μm と 10.8 μm に値を変えて行ったシミュレーション結果を Figure4・5 に示す。

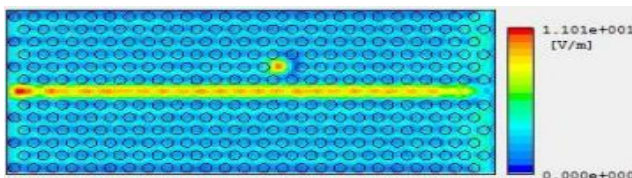


Figure4 半径(30 μm)

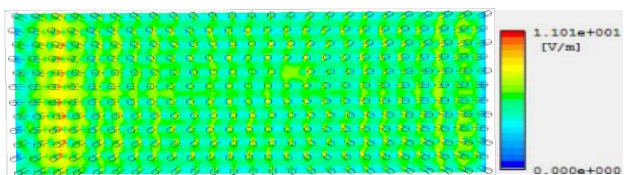


Figure5 半径(10.8 μm)

半径(10.8 μm)は半径(30 μm)に比べ、全体的にテラヘルツ波が分布してしまっている。そのため半径 r は 30 μm(求めた同じ値)が適しているとわかる。

3-3 フォトニック結晶の設計

以上のような結果から格子定数を式(1),(2)より求める値の差、半径を求める同じ値で設計すれば動作すると仮定し新たに波長 λ=428μm(周波数 700GHz)で計算すると格子定数 a=235.4 μm,85.6 μm、半径 r=15.4 μm,42.3 μm, 42.3 μm,116.5 μm が求められる。そして、a=150μm,r=42.3 μm としてシミュレーションを行った。その結果を Figure6 に示す。

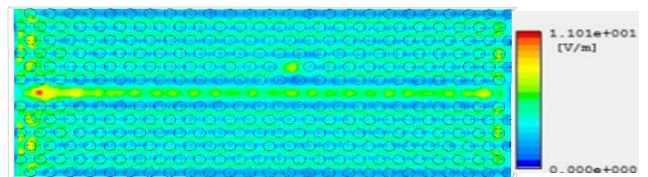


Figure6 フォトニック結晶(λ=428μm)

Figure3 に導波路以外にテラヘルツ波が集められていない。また、Figure5 に比べ全体的にテラヘルツ波が分布していないことがわかる。

4.まとめ

格子定数の値を求めた 2 つの値の差、半径のパラメータを同じ値のもので設計した。その結果、テラヘルツの伝搬に関しては導波路に沿って伝搬していることがわかった。しかし、アンテナの欠陥部分ではテラヘルツ波が Figure2 に比べ集められていないことがわかる。この原因として、セルの数が変わっていないためアンテナ全体のサイズが変わったことがあげられる。また、シミュレーションを行わなかった格子定数 a=60 μm 半径 81.65 μm についても次回ではシミュレーションを行い上記の原因と合わせて明らかにする。

5,参考文献

[1]百瀬亘、製剤開発の効率化ならびに継続的改善に貢献する新規非破壊 PAT 技術開発、薬剤学、Vol.76,
 [2] 味戸克裕、医薬分野に向けた連続波テラヘルツ分光システム、NTT 技術ジャーナル,2014
 [3]Keunjoo Kim, "Lattice Constant Effect of Photonic Crystals on the Light Output of Blue LightEmitting Diodes L",IEEE,PHOTONICSTECHNOLOGY LETTERS, VOL. 20, NO. 17, SEPTEMBER 1, (2008)