

## フォトニック結晶光デバイスの作製およびその評価系の構築

電気システム工学科 中 良弘

### 1. はじめに

近年の高度情報化およびマルチメディア化に伴う大容量の情報伝送および超高速信号処理が求められる中、光-電気信号変換を伴わないオールオプティカルネットワークの構築が急務となっている。光信号処理を行う光回路素子において、低損失に光路変換や光パワー分配を行うために必要となる大きな曲率半径の曲がり導波路が、光回路素子のサイズを大型化させる要因の一つとなっている。そこで、強い光の閉じこめ効果を持つフォトニック結晶を用いて光の波長オーダーの大きさの光路変換素子を作成する試みがなされている。しかしフォトニック結晶分岐導波路や曲がり導波路を組み合わせた光回路素子において、個々の分岐部や曲がり部からの光反射パワーがわずかでも存在するとき、フォトニック結晶の持つ強い光閉じ込め効果により、その反射波による多重反射すなわちファブリー-ペロー共振が生じる。このファブリー-ペロー共振が生じると光回路内の導波路の長さが変わることで回路全体の特性が変化してしまうため、回路素子設計が非常に困難となる。従って光回路素子の設計を容易にするためにも、100%の透過率を持つ曲がり導波路が必要とされている。そこで本研究では曲がり部からの反射波を完全に無くすために共鳴トンネリングを利用した曲がり導波路を提案する。曲がり部に微小共振器を配置することで共鳴トンネリング現象を生じさせることができ、それにより曲げ部からの反射波が全く無い高効率な光パワー伝送を行うことができる。まず、数値シミュレーションによりその導波路の特性評価を行った。次に、デバイスの作製を試みた。同時に、その評価のための測定系の構築を行った。

### 2. 高効率曲がり導波路の特性解析

本研究ではシリコン基板に穴を開けたエアホール型2次元型フォトニック結晶を用いた光導波路を考える。まずははじめに数値シミュレーションにより曲がり導波路の特性解析を行った。数値解法は時間領域差分法を用いた。解析モデルとして図1に示すようなy方向に一様なシリコン(比誘電率  $\epsilon_a=11.9$ )に半径  $r_a=153[\text{nm}]$  の円形エアホール(比誘電率  $\epsilon_b=1.0$ )が格子定数  $a=425[\text{nm}]$  で三角格子状に配置されたフォトニック結

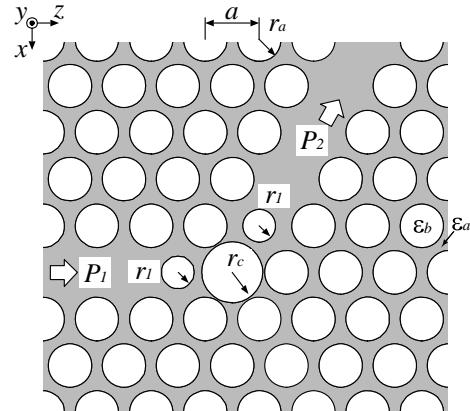


図1 共振器を用いたフォトニック結晶曲がり導波路

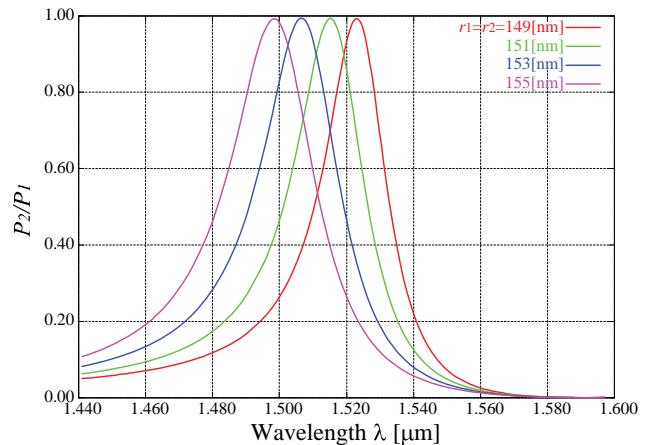


図2 フォトニック結晶曲がり導波路の光パワー透過特性(数値シミュレーション)

晶曲がり導波路を考える。このフォトニック結晶においては、 $1.24 \leq \lambda \leq 1.88 [\mu\text{m}]$ の波長範囲においてフォトニックバンドギャップといわれる結晶内の光の伝搬が禁止される帯域が現れる。そこで、図1に示すようにフォトニック結晶中に結晶欠陥を線状に設け、フォトニックバンドギャップの帯域内の波長の光をこの欠陥に入射すると、光は欠陥中に閉じ込められ伝搬し、強閉じ込めの光導波路として機能する。本研究では導波層部分はエアホールを一列だけ取り除いた。このとき、

$1.38 \leq \lambda \leq 1.59 [\mu\text{m}]$  の波長範囲においてこの導波路はシングルモードで動作する。曲げ部には共振器を構成するために半径  $r_1$  のエアホールを図に示す位置にそれぞれ配置し、その共振器の内部にはシングルモード帯域においてモノポールの共振モードが励起されるよう半径  $r_c=259[\text{nm}]$  のエアホールを置いた。図 2 に共振器と導波路の接続部に置いたエアホールの半径を変化させたときの入力パワーに対する出力パワーの透過率の波長特性を示す。図に示すように共振器の共振波長において透過パワーが 100% 透過していることが確認できる。また、共振器と導波路の接続部に置いたエアホールの半径  $r_1$  を変化させることにより透過帯域を調整できる。図 3 に共振波長の光を入射したときの電界強度分布を示す。共振により共振器に電界が集中しており、また、入射側へ反射波も見られない。

### 3. フォトニック結晶導波路の作製および測定系の構築

数値シミュレーションによって同定した設計パラメータに基づきフォトニック結晶導波路の作製を試みた。ここではSOI基板を用いた。ここで用いたSOI基板はシリコン基板上に  $2\mu\text{m}$  の  $\text{SiO}_2$  層、さらにその上に  $300\text{nm}$  のシリコン層がある。本研究ではそのシリコン層にフォトニック結晶を作製する。図 4 に電子ビーム描画装置で描画したレジストパターンの SEM 像を示す。425nm ピッチでおよそ  $300\text{nm}$  の円形パターンおよび幅  $550\text{nm}$  の導波層が描画できていることが確認できる。現在このパターンをシリコン層に転写するエッチャング工程の条件出しを行っている。また、これらデバイスの測定を行うための近赤外微弱光分光測定系の構築を行っている。その概略図を図 5 に示す。

### 4. まとめ

フォトニック結晶により構成される微小共振器を有する高効率曲がり導波路を数値シミュレーションにより評価し、高効率な光路変換が行えることを確認した。またここで求めた設計パラメータに基づきフォトニック結晶導波路の作製およびその測定系の構築を行った。今後エッチャングおよびレジスト剤除去工程を経てデバイスを完成させ、その光学特性を評価する予定である。

### 謝辞

電子ビーム描画装置などに関してご協力、ご助言頂いた本学の久保田 弘教授、中田明良助教授、熊本テク

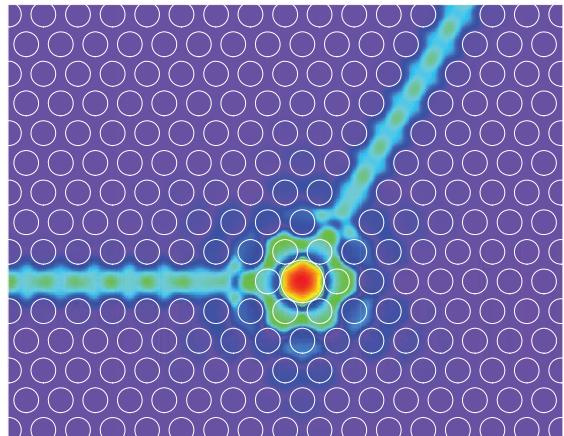


図 3 フォトニック結晶曲がり導波路の電界強度分布（数値シミュレーション）

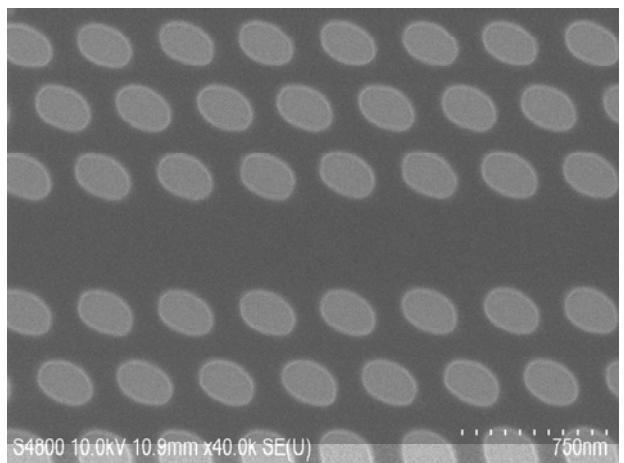


図 4 フォトニック結晶導波路のSEM像  
(レジストパターン)

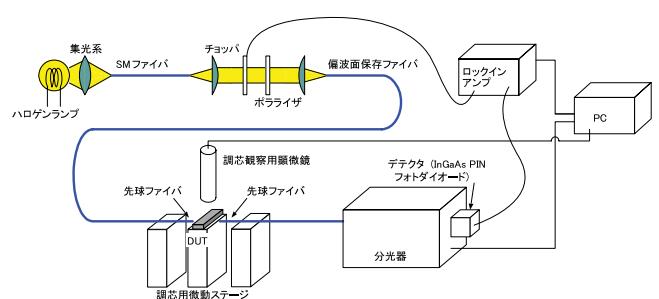


図 5 光学測定系の概略

ノ産業財団（当時）の中村一光様、そして久保田・中田研究室の皆様に感謝いたします。