

審査の結果の要旨

氏名 高畑 智之

本論文は「ロッド挿入法によるアクティブフォトニック結晶」と題し、7章からなっている。光情報処理の実現には、外部からの入力によって特性を変化させることのできるアクティブな素子が必要であるが、本論文は、アクティブフォトニック結晶を実現するため、2次元フォトニック結晶スラブ自体を動かすスラブ駆動ロッド挿入法による変調方法を提案し、この手法を用いて高消光比かつ広波長域のスイッチを実現したものである。

第1章「序論」では、研究の背景と目的、論文の構成について述べている。

第2章「フォトニック結晶の空孔へのロッド挿入」では、ロッド挿入法について理論的な解析を展開している。まず、1次元フォトニック結晶についてブラッグ反射の考え方を用いて考察し、空気層の割合が大きくなると遮断波長が短くなることを示している。次に、ロッドを持たないスラブフォトニック結晶のギャップマップを計算し、空孔の半径が構造の周期の40%から45%の時が最もギャップ幅が広くなり、ロッドが挿入されたスラブフォトニック結晶では、ロッドの半径が空孔の半径の70%を超えるとバンドギャップが消失することを示している。すなわちこの大きさの空孔およびロッドによって、ロッドのありなしで透過率を変えられることを示している。さらに、3次元FDTD (finite-difference time-domain) 法によりロッドがない状態と挿入された状態の光透過特性を計算し、ロッド挿入法によって高消光比かつ広波長範囲の光スイッチが実現できることを計算している。

第3章「走査プローブ顕微鏡を用いたロッド挿入」では、2次元スラブフォトニック結晶反射器の反射率を、空孔に走査プローブ顕微鏡探針を挿入することで変化させている。実験によって得られた光透過率の変化は0.4 dBであり、この値はFDTD法による計算結果と一致している。実験を通じて、走査プローブ顕微鏡を用いた手法では、構造を走査するたびに探針が磨耗していくこと、探針を空孔に深く挿入することが難しいことを示している。

第4章「ワンチップ素子の設計」では、ワンチップでロッド挿入を実現するアクティブフォトニック結晶の構造を提案し、同構造による光スイッチを設計している。設計した素子の透過率の変化を3次元FDTD法により計算し、スラブの撓み量がスラブの厚さの1.4倍程度までは、光がスラブとロッドとの間を行き来しながら伝搬していくことを示している。このとき、スラブを出てロッドを通りまたスラブに戻るまでの光路長の2倍が、光の波長の3倍であるときに干渉が起きて透過率が最小値をとることを見出した。また、2次元FDTD法によってスラブの端の形状およびスラブの幅と透過率の関係を求めている。さらに、有限要素法を用いてスラブフォトニック結晶の機械的特性を解析し、スラブへの印加電圧と撓み量の関係を計算し、空孔を持たないスラブもスラブフォトニック結晶も撓み量は電圧の2乗に比例することを示している。また、同じ手法により、設計したスラブフォトニック結晶の共振周波数は真空中で14.0 MHzであり、素子が高速動作できることを示している。

第5章「素子の製作」では、前章で提案した素子を実現するための製作方法について述べた。第1に、電子線露光装置で半径288 nm、幅70 nmのドーナツ型を描画するための条件を求めている。第2に、ICP-RIEを用いてシリコンを幅70 nm、深さ290 nm (アスペクト比4) で垂直にエッチングするための条件を求めている。第3に、スラブをリリースするための、フッ化水素酸の蒸気による酸化シリコン層のエッチング条件を求めている。これらの手法をもちいて素子を製作し、設計どおりに製作可能であることを示している。

第6章「素子の特性計測」では、製作した素子の特性実験を行っている。まず、スラブへの印加電圧と撓み量の関係を測定し、引き込み電圧の実測値は計算値よりも小さいことを示している。次に、ワンチップアクティブフォトニック結晶光スイッチに電圧を印加し、透過率の変化を計測している。長さ10 μm の素子は印加電圧30 Vにおいて消光比15 dB、長さ15 μm の素子は印加電圧5 Vにおいて消光比6 dBを得ている。以上により、提案する構造によって光スイッチが可能であることを、実験を通じて示している。

第7章「結論」では、本研究によって得られた成果とその結論を述べ、考察を加えている。

以上のように、本論文ではスラブ駆動ロッド挿入法によるアクティブフォトニック結晶の構造を提案し、その手法により光スイッチを実現した。これはサブミクロンの大きさの可動部をもつMEMS構造とフォトニック結晶とを融合した素子であり、知能機械情報学の発展に貢献したものである。