

## 論文の内容の要旨及び論文審査の結果の要旨の公表

学位規則第 8 条に基づき、論文の内容の要旨及び論文審査の結果の要旨を公表する。

○氏名	BUI THANH TUNG (ぶい たん とうん)
○学位の種類	博士 (工学)
○授与番号	甲 第 766 号
○授与年月日	2011 年 9 月 25 日
○学位授与の要件	本学学位規程第 18 条第 1 項 学位規則第 4 条第 1 項
○学位論文の題名	Study on Strain Sensing Effect in Silicon Photonic Crystal Nanocavities (シリコンフォトニック結晶ナノキャビティのひずみセンシング効果に関する研究)
○審査委員	(主査) 杉山 進 (立命館大学立命館グローバルイノベーション研究機構教授) 鳥山 寿之 (立命館大学理工学部教授) 小野 雄三 (立命館大学理工学部教授)

### <論文の内容の要旨>

本論文は、二次元フォトニック結晶(PhC)ナノキャビティのひずみセンシング効果に関して、理論解析および実験的検証を行ったものである。

理論解析では、Si 基板に製作した PhC ナノキャビティのピエゾ光学効果に関して、数値解析手法として有限要素法 (FEM) および有限差分時間領域法 (FDTD) を用い、PhC ナノキャビティの設計とひずみセンシング効果の解析を行った。本論文では三角格子構造の PhC を用い、ナノキャビティの構造は、空孔のサイズと形を変化させた空孔変調型 (hole-modified) キャビティと空孔位置を変えた空孔変位型 (hole-shifted) キャビティの 2 種類のキャビティを設計した。それぞれの格子定数/空孔半径は 460nm/138nm と 450nm/150nm になった。これらのナノキャビティを FDTD を用いて高い Q-値になるよう最適設計した。また、ひずみによる PhC の幾何学的変化を FEM により解析した。解析には材料の屈折率変化を考慮に入れた。ナノキャビティのひずみ量と共振波長の変化は線形関係を示し、長手方向および横方向のひずみに対する共振波長の変化が得られた。

実験では、電子ビームリソグラフィやプラズマエッチング等によって SOI 基板上に PhC ナノキャビティを作製した。作製したナノキャビティの透過特性を波長可変レーザー測定システムによって評価した。空孔変位型キャビティの Q-値は 4500 に達した。ひずみセンシング効果の評価は、カンチレバーを用いて PhC ナノキャビティへ引張りひずみを与え、共振波長の変化を定量的に測定した。これらの実験的検証結果は、数値解析結果と傾向が一致した。

本研究のまとめとして、得られた結果に基づく高精度ひずみセンシングの展望と課題について示している。

#### <論文審査の結果の要旨>

本論文は、二次元フォトニック結晶(PhC)ナノキャビティの機械ひずみによって共振波長が変化するひずみセンシング効果に関し、PhCの結晶方位および形状変化の依存性と検出感度を理論解析および実験的検証したものであり、以下の点において評価できる。

1. 三角格子構造の PhC を用い、空孔変調型 (hole-modified) キャビティと空孔変位型 (hole-shifted) キャビティの 2 種類のキャビティにおいて、有限差分時間領域法 (FDTD) を用いて高い Q-値になるよう最適設計し、先行研究では行われていない材料の屈折率変化を考慮に入れた機械ひずみによる共振波長のシフト効果を確認した。
2. SOI (silicon on insulator) 基板を用い電子ビームリソグラフィやプラズマエッチング等によって、PhC ナノキャビティおよびエアブリッジ構成の導波路を集積したカンチレバー型ひずみセンサを作製し、波長可変レーザーを光源として先球光ファイバーで導波路に結合し、先行研究では達成していない、ひずみセンシング効果を初めて定量的に測定した。
3. 以上の構成のPhCナノキャビティひずみセンサによって1500nm帯の可変波長赤外線レーザーを用い高分解能スペクトロメータ(分解能0.008pm)で計測することによりひずみ検出分解能 $8.5 \times 10^{-9}$  (0.0085  $\mu$  strain) が得られることを示唆した。
4. 数値設計にとどまらず、国内外(オランダ Delft 工科大学、東北大学)の製作装置、測定装置をフルに稼働して、デバイスとしてまとめ上げ所望の結果を得ることができた。

本論文の審査に関して、2011年7月29日(金)15時30分~17時00分メディアラボ2において公聴会を開催し、申請者による論文要旨の説明の後、審査委員は学位申請者に対する口頭試問を行った。各審査委員および公聴会参加者より、本研究の独創性、理論と実測値の関係などの質問がなされたが、いずれの質問に対しても申請者の回答は適切なものであった。よって、以上の論文審査と公聴会での口頭試問結果を踏まえ、本論文は博士の学位に値する論文であると判断した。

#### <試験または学力確認の結果の要旨>

本論文の主査は、本論文提出者と本学大学院理工学研究科総合理工学専攻博士課程後期課程在学期間中に、研究指導を通じ、日常的に研究討論を行ってきた。また、本論文提出後、主査および副査はそれぞれの立場から論文の内容について評価を行った。

本論文提出者は、本学学位規程第18条第1項該当者であり、論文内容および公聴会での質疑応答を通して、本論文提出者が十分な学識を有し、課程博士学位に相応しい学力を有

していると確認した。

以上の諸点を総合し、本論文提出者に対し、「博士（工学 立命館大学）」の学位を授与することを適当と判断する。