

Tailoring optical resonances
in photonic crystals with an optical nanofiber

February 2018

TETSUMOTO, Tomohiro

主 論 文 要 旨

No.1

報告番号	甲	第	号	氏 名	鐵本 智大
主論文題名： Tailoring optical resonances in photonic crystals with an optical nanofiber (ナノ光ファイバを用いたフォトニック結晶内の光共振の調整)					
(内容の要旨) ナノ加工技術の進展は、光を微小な空間に強く閉じ込めることができる微小光共振器の素子化を可能にした。微小光共振器内では高い光子密度が得られるので、この素子は非線形光学や量子光学の分野で広く利用されるようになった。その中でもフォトニック結晶共振器は、高 Q 値な共振モードが得られ、小型であるのでチップへの高密度な集積が可能であるといった特徴を有することから、非線形光学効果及び光の量子性を活用した信号処理の応用に適している。その一方で、量子情報通信に向けた共振器量子電磁力学応用では、従来のフォトニック結晶共振器を用いたのでは、共振器から光ファイバへの光の結合効率が低いことに加え、素子作製時に所望の波長や Q 値を有する共振モードを得ることや、偏波無依存化が難しいという課題があった。 本研究では、ナノ光ファイバを用いることで、これらの課題を同時に解決できることを示した。ナノ光ファイバ結合型フォトニック結晶共振器及びシリカナノビーム共振器の、二つのフォトニック結晶共振器についての提案をした。前者の共振器を用いると、光ファイバへの光の高い結合効率の達成に加えて、共振モードの波長と Q 値のチューニングができ、後者の共振器を用いると、それらに加えて偏波無依存化が可能だと示した。 第1章では、本研究の背景を概説し、目的を述べた。 第2章では、本研究で必要とされる理論を整理し、フォトニックバンドギャップやフォトニック結晶共振器の形成原理や研究に利用した計算手法の原理を記載した。 第3章では、ナノ光ファイバ結合型フォトニック結晶共振器の形成手法を示した。また、その光学性能を評価し、ナノ光ファイバの直径やフォトニック結晶との接触長さを調整することで、最大で99.6%の結合効率が達成でき、さらには共振モードの波長や Q 値のチューニングも可能であることを示した。 第4章では、ナノ光ファイバ結合型フォトニック結晶共振器を用いた結合共振モードの形成実験を示した。共振モードの波長が制御できることを利用し、二つの共振モードの波長を一致するように操作することで、スペクトル領域での反交差を観測した。 第5章では、シリカナノビーム共振器の設計、作製、性能評価について述べた。TE及びTMモードのいずれでも 10^4 を超える Q 値を有することを示し、これらの二つのモードが直交性を有することを確認した。また、光の入出力に用いるナノ光ファイバの直径やシリカナノビーム共振器との間の距離を調整することで、最大で96%の結合効率を達成し、さらには共振モードの波長や Q 値のチューニングが可能であることを示した。 第6章では、スペクトル領域で重なりを持つ二つの直交した共振モードを有するシリカナノビーム共振器の設計を示した。円偏光の局在が可能であることを数値解析により明らかとし、偏波無依存化が可能であることを示した。 第7章では、各章で得られた知見をまとめ、本研究の総括を行った。					

Thesis Abstract

No. _____

Registration Number	<input type="checkbox"/> “KOU” No. _____	*Office use only	Name	TETSUMOTO, Tomohiro
Thesis Title <div style="text-align: center; padding: 10px;">Tailoring optical resonances in photonic crystals with an optical nanofiber</div>				
Thesis Summary <p>The progress made on nano-fabrication technologies has made it possible to devise sophisticated optical nano- and micro-cavities that can confine light in a tiny space. These devices are widely used in the fields of nonlinear optics and quantum optics because they allow us to obtain a high photon density inside an optical microcavity. Among them, photonic crystal nanocavities are suitable for applications that use nonlinear optical effects and the quantum properties of light, because they have features which enable obtaining high Q resonant modes and their dense integration on a chip owing to their small size. On the other hand, there are challenges in cavity quantum electrodynamics applications for the quantum information technology with conventional photonic crystal nanocavities that the coupling efficiency of light from a cavity to an optical fiber is low, in addition, obtaining resonant modes with desired resonant wavelengths and Qs when the fabrication is performed, and the implementation of the polarization independence are difficult.</p> <p>In this study, I showed that these problems can be solved simultaneously by employing optical nanofibers. The proposal has been made for two types of photonic crystal nanocavities of a nanofiber-coupled photonic crystal cavity and a silica nanobeam cavity. The former cavity enables a high coupling efficiency with an optical fiber besides the tuning of the wavelength and the Q of the resonant mode, and on top of them, the latter cavity enables the polarization independence.</p> <p>Chapter 1 reviews the background of the study and describes the motivation.</p> <p>Chapter 2 summarizes the theories needed for this study and describes principles of forming photonic bandgap and a photonic crystal nanocavity, and numerical methods used in this study.</p> <p>Chapter 3 presents the principle behind the formation of a nanofiber-coupled photonic crystal nanocavity. By measuring the optical properties, I show that a coupling efficiency of 99.6% can be achieved at most and, furthermore, that the wavelength and the Q of the resonant mode can be tuned by controlling nanofiber’s diameter and contact length between a photonic crystal.</p> <p>Chapter 4 shows a demonstration of the formation of coupled resonances by using a fiber coupled photonic crystal nanocavity. Avoided crossing was observed in the spectrum domain by taking advantage of the wavelength controllability of the resonant modes.</p> <p>Chapter 5 reports the design, fabrication and characterization of a silica nanobeam cavity. I show that the quality factors for both the TE and TM modes exhibit values higher than 10^4, and confirm the orthogonality of these two modes. In addition, by changing the diameter and the distance from the silica nanobeam cavity of the optical nanofiber used for inputting and outputting light, I achieve a coupling efficiency of 96% at most and, furthermore, show that the wavelength and the Q of the resonant mode can be tuned.</p> <p>Chapter 6 describes the design of a silica nanobeam cavity with two spectrally overlapped orthogonal modes. By demonstrating numerically the localization of circularly polarized light, I show the possibility of the polarization diversity of this device.</p> <p>Chapter 7 summarizes the results I report in each chapter and concludes the thesis.</p>				