

課題番号 : F-13-OS-0017  
 利用形態 : 機器利用  
 利用課題名 (日本語) : ナノ光ファイバへの光共振器構造の作製  
 Program Title (English) : Fabrication of Nano-fiber Optical Cavity Using Focused Ion Beam  
 利用者名(日本語) : 藤原 正澄<sup>a,b</sup>、上岡 俊也<sup>a,b</sup>、高島 秀聡<sup>a,b</sup>、竹内 繁樹<sup>a,b</sup>  
 Username (English) : Masazumi Fujiwara<sup>a,b</sup>, Shunya Kamioka<sup>a,b</sup>, Hideaki Takashima<sup>a,b</sup>,  
 Shigeki Takeuchi<sup>a,b</sup>  
 所属名(日本語) : <sup>a</sup>北海道大学 電子科学研究所, <sup>b</sup>大阪大学産業科学研究所  
 Affiliation (English) : <sup>a</sup>RIES, Hokkaido University, <sup>b</sup>ISIR, Osaka University

### 1. 概要 (Summary)

高効率単一光子源[1]や光量子メモリー[2]といった光量子情報デバイスの実現には、小さいモード体積を持ち、かつ、外部との低損失接続が可能なシングルモード微小共振器の開発が不可欠である。様々な微小共振器の中でも、シングルモード光ファイバを直径 300 nm 程度まで細く引き延ばしたナノ光ファイバ上に共振器構造を付加した共振器内蔵ナノ光ファイバは、外部との低損失接続が可能であり、かつ、発光体との高効率結合が可能という優れた特徴を持つ微小共振器として期待されている[3, 4]。本年は、集束イオンビーム装置を用いてナノ光ファイバ上に共振器内蔵ナノ光ファイバを作製し、ダイヤモンド結晶中の窒素欠陥中心や CdSe/ZnS 量子ドットの発光波長付近(~640 nm)において共振器由来の共鳴ピークを観測した。また、その共鳴ピーク波長の可逆かつ広帯域な制御にも成功した。

### 2. 実験 (Experimental)

共振器内蔵ナノ光ファイバの加工には集束イオンビーム (Focused Ion Beam ; FIB) 装置(SII 社, SMI-2050)を用いた。Ga イオンをプローブ電流 9.3 PA、ビーム径を 13 nm の設定で直径 270 nm のナノ光ファイバに照射し、周期 300 nm、繰り返し 80 のブラッググレーティングを 450 nm の間隔を開けて二つ形成し共振器内蔵ナノ光ファイバを作製した。

光源に広帯域白色光源(YOKOGAWA 社, AQ4305)を用い、共振器内蔵ナノ光ファイバへ白色光を導入し分光器 (Princeton 社, SP-2358) を用いて透過スペクトルを測定した。また、共振器内蔵ナノ光ファイバをピエゾ素子(attocube systems 社, ANPx51)を挟んだ可動ファイバ保持ホルダを用いてファイバの長手方向に

伸縮させながら透過スペクトルの測定も行った。

### 3. 結果と考察 (Results and Discussion)

Fig. 1 に共振器内蔵ナノ光ファイバの走査イオン顕微鏡 (Scanning Ion Microscope; SIM) 像を示す。直径 270 nm の部分と、FIB 加工により直径が 180 nm まで細くなった部分が 300 nm の周期で繰り返しているグレーティング構造が 450 nm の間隔を開けて二つ作製されていることがわかった。

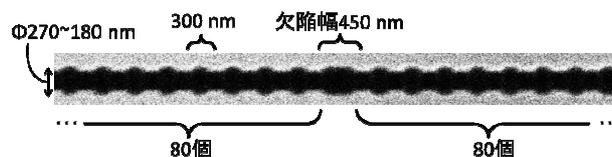


Fig.1 Optical tapered nanofibers with a

Fig. 2 に共振器内蔵ナノ光ファイバの透過スペクトルを示す。波長 625 nm から 645 nm にかけてブラックグレーティング由来のストップバンドが観測され、その中央に Q 値 230 に対応する半値全幅 2.8 nm を持つ共振器由来の共鳴ピークが観測された。

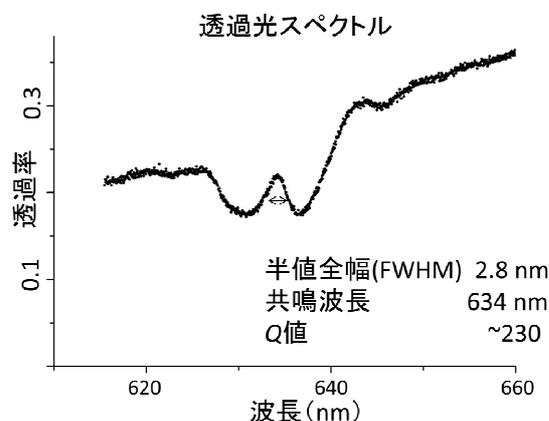


Fig. 1 A transmission spectrum of optical nanofibers with a Bragg-grating cavity

Fig. 3 は可動ファイバ保持ホルダを用いてファイバを長手方向に伸縮させながら測定した透過スペクトルである。ホルダを縮めながら透過スペクトルを測定し共鳴波長が 641.3 nm からそれ以上短波長側にシフトしなくなったホルダの位置を $\Delta L = 0 \mu\text{m}$ と定義した。この位置からホルダを伸長させるにつれ共鳴波長が長波長側にシフトし、 $\Delta L = 411 \mu\text{m}$ の時、共鳴波長は 660.8 nm に達した。

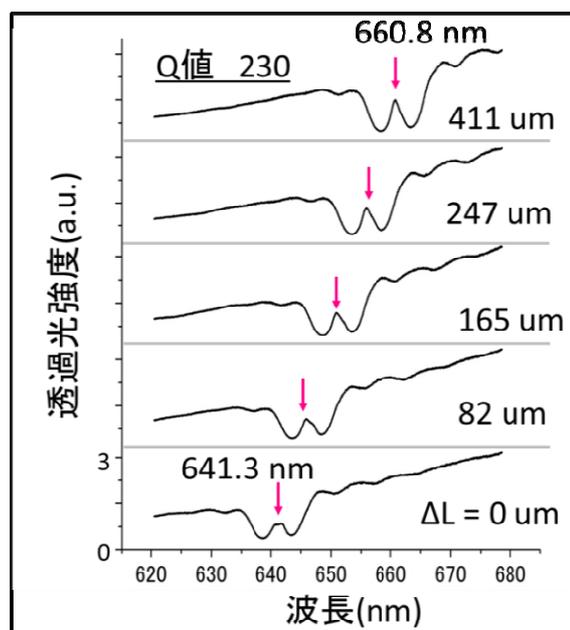


Fig. 2 Resonance peak shift of the cavity

#### 4. その他・特記事項 (Others)

今後の課題

実験で得られた  $Q$  値は時間領域差分法(FDTD)による計算結果( $Q \sim 2000$ )よりも小さかった。この原因の一つとして、加工時の構造の不均一性が考えられる。そこで、今後は加工時のパラメータのさらなる最適化を行い高  $Q$  値の共振器内蔵ナノ光ファイバの加工を行う予定である。

参考文献

- [1] Matthew Pelton, Charles Santori, Jelena Vučković, Bingyang Zhang, Glenn S. Solomon, Jocelyn Plant, and Yoshihisa Yamamoto, Phys. Rev. Lett. **89**, 233602 (2002).
- [2] H.P. Specht, C. Nölleke, A. Reiserer, M. Uphoff, E. Figueroa, S. Ritter, G. Rempe, Nature **473**, 190 (2011).
- [3] Fam Le Kien and K. Hakuta, Phys. Rev. A **80**, 053826 (2009).

[4] 竹内繁樹 “テーパー光ファイバ” 特願 2010-15814

#### 5. 論文・学会発表 (Publication/Presentation)

- (1) Shunya Kamioka, Masazumi Fujiwara, Shigeki Takeuchi, The International Workshop on New Science and Technologies using Entangled Photons, 平成 25 年 7 月 8 日
- (2) 上岡俊也、藤原正澄、竹内繁樹、第 29 回量子情報技術研究会、平成 25 年 11 月 18 日
- (3) 上岡俊也、藤原正澄、高島秀聡、竹内繁樹、日本物理学会 2014 年年次大会、平成 26 年 3 月 30 日

#### 6. 関連特許 (Patent)

なし。