

課題番号 : F-15-OS-0026
利用形態 : 機器利用
利用課題名(日本語) : 高 Q 値ナノ光ファイバ共振器の作製
Program Title (English) : Fabrication of high Q nanofiber Bragg cavity
利用者名(日本語) : 高島秀聡, 大江康子, 福田純, 丸谷浩永
Username (English) : H. Takashima, Y. Oe, A. Fukuda, H. Maruya
所属名(日本語) : 京都大学工学研究科
Affiliation (English) : Graduate School of Engineering, Kyoto 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、モード体積が小さく、広帯域共鳴波長制御が可能であり、かつ、シングルモードファイバとのロスレス結合が可能な微小共振器の開発が不可欠である。そこで、これまで我々は、集束イオンビーム装置を用いたナノファイバブラッグ共振器(NFBC)の作製を行ってきた。本年度は、NFBC の加工、量子ドットとのカップリング、ならびに、高 Q 値化に向けた高精細集束イオンビーム装置を用いた微細加工を行った。

2. 実験(Experimental)

【利用した主な設備】

集束イオンビーム装置(日立ハイテクサイエンス、SMI2050)、高精細収束イオンビーム装置(ZEISS “ORION NanoFab”)

【NFBC の加工ならびに評価方法】

NFBC の加工には集束イオンビーム(FIB)装置(日立ハイテクサイエンス、SMI2050)を用いた。高さ 100 nm、幅 5 μm の長方形を、300 nm 間隔で 80 個作図した。そして、450 nm の間隔をあけて同様の構造を作図し加工領域として設定した。加工のためのプローブ電流値を 9.3 pA とし加工を行った。

作製した NFBC の Q 値を評価するため、光源に白色光源を用い、分光器を用いて透過スペクトルを測定した。

【NFBC と発光体とのカップリング実験】

NFBC に結合させる発光体として量子ドット(CdSe/ZnS Ocean Nano Tech 社)を用いた。この量子ドットをトルエン溶液中に分散させた後、タングステンプローブ(先端径 200 nm マイクロサポート社)をこの溶液に浸し、量子ドッ

トをタングステンプローブ上に複数個付着させた。そして、電子増倍 CCD 付顕微鏡で観察しながら、そのタングステンプローブを 3 軸のピエゾ素子を用いて NFBC 上に接触させることで、単一の量子ドットを NFBC の欠陥領域に付着させた。

発光スペクトルを測定するため、光源には波長 532nm のパルスレーザを用いた。対物レンズを用いファイバの外側から量子ドットを励起し、NFBC を経由して量子ドットからの発光を、分光器を用いて測定した。

3. 結果と考察(Results and Discussion)

【NFBC の評価結果】

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.2 に透過スペクトルを示す。波長 625 nm から 645

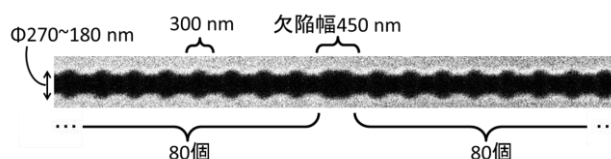


Fig.1 Scanning ion microscope image of NFBC
nm にかけてブラックグレーティング由来のストップバンドが観測され、その中央に Q 値 230 に対応する半値全幅 2.8 nm を持つ共振器由来の共鳴ピークが観測された。Q 値を増大させるため、グレーティングの溝の数を 197 まで増やしたところ、Q 値を 480 まで増大させることに成功した。

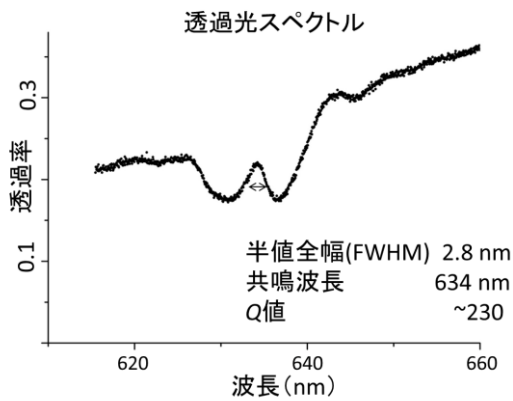


Fig.2 Transmission spectrum of NFBC

【NFBC と発光体とのカップリング実験結果】

Fig.3 に NFBC に付着させた量子ドットの発光スペクトルを示す。共振器の共鳴波長に一致する波長で増強された発光ピークが観測された。

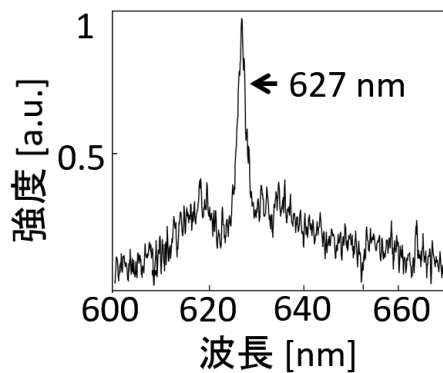


Fig.3 Photoluminescence spectrum

高 Q 値 NFBC の作製をめざし、高精細収束イオンビーム装置(ZEISS “ORION NanoFab”)を用い、ナノファイバ上に周期構造を作製した。高さ 100 nm、幅 1 μm の長方形を 300 nm 間隔で 20 個作図し、加工領域として指定した。0.04nC/ μm^2 のドーズ量で He イオンビームを加工領域に照射することで、加工を行った。

Fig.4 に加工を行った SIM 像を示す。直径 250 nm のナノファイバ上に、360 nm 間隔でグレーティング構造が作製できていることがわかった。



Fig.4 Nanofiber with the grating structure fabricated by helium ion beam. Scale bar indicates 500 nm.

【今後の課題】

Q 値をさらに増大させるためには、より高い加工精度を実現する必要がある。そこで、今後は、高精細集束イオンビーム装置を用いた NFBC の作製を行う予定である。これにより、NFBC を用いた超低閾値レーザ、単一光子源、光量子メモリー等の開発が可能になると考えられる。

4. その他・特記事項 (Others)

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).

5. 論文・学会発表 (Publication/Presentation)

論文

Andreas W. Schell, Hideaki Takashima, Shunya Kamioka, Yasuko Oe, Masazumi Fujiwara, Oliver Benson, and Shigeki Takeuchi, Scientific Reports, **5**, 9619 (2015).

学会発表

- (1) 大江康子、国際光年記念シンポジウム、東京 (2015)
- (2) A.Schell, ONNA, Okinawa (2015)
- (3) Y. Oe *et al.*, CLEO/EUROPE-EQEC 2015, Germany (2015)
- (4) A.Schell *et al.*, CLEO-PR 2015, Korea (2015)
- (5) H.Takashima *et al.*, CLEO-PR 2015, Korea (2015)
- (6) 高島秀聡他、第 76 回応用物理学会秋季学術講演会、名古屋 (2015)

6. 関連特許 (Patent)

なし