

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 29 年 9 月 26 日現在

機関番号：11301

研究種目：挑戦的萌芽研究

研究期間：2015～2016

課題番号：15K13544

研究課題名(和文) Coherent control of a solid state qubit on an optical nanofiber

研究課題名(英文) Coherent control of a solid state qubit on an optical nanofiber

研究代表者

Sadgrove Mark (Sadgrove, Mark)

東北大学・電気通信研究所・准教授

研究者番号：40625000

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 2,900,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では光ナノファイバ上の個体量子ビットのコヒレント制御を目的としました。下記のように4つの成果がありました。

i) 東北大学での新たなナノファイバ作成装置の実現。ii) 準決定論的にナノファイバ表面上にナノ粒子の導入。固体量子エミッタがナノ結晶なので、ナノファイバ表面に導入する方法が必要である。ほぼ50%の確率で単一粒子の導入ができる。iii) グレーティングナノ構造のデザインと作成。このナノ構造を用い、ナノファイバ内の光に対して共振器の生成ができる。共振器の影響でエミッタとファイバの結合が強化できる。iv) ナノファイバ表面上の粒子トラップの新たな方法を開発しました。

研究成果の概要(英文)：In this research, we made significant progress towards the goal "Coherent control of a solid state qubit on an optical nanofiber". The progress and successes will be described below.

i) Establishment of new nanofiber fabrication equipment at Tohoku University: A new experiment was built to manufacture high transmission nanofibers. Nanofibers with diameters as low as 300 nm and transmissions as high as 98% were realized. ii) Near-deterministic deposition of single nanoparticles on a nanofiber: Solid-state emitters in the form of nano-crystals can be interfaced by with optical nanofibers by placing them on the surface of the nanofiber. We developed a method for depositing nanoparticles on the surface of a nanofiber with a good success rate (~50%) of achieving a single nanoparticle. iii) We fabricated grating nanostructures to create nanofiber cavities and to measure nanofiber diameters. iv) We developed new methods for trapping particles at optimal positions for nanofiber coupling.

研究分野：ナノフォトニクス

キーワード：ナノフォトニクス ナノ粒子 量子情報

1. 研究開始当初の背景

ナノ光ファイバへ結合された量子エミッターは量子ネットワークの実現のために重要なテクノロジーの一つである。しかし、現在の研究では主に短期寿命エミッター状態しか利用されてなく、量子ビットに向いていない。

2. 研究の目的

以上の難点を解決するために、本研究では、我々は下記の通りのゴールを目指している。

i) ナノダイヤモンドナノ粒子中の窒素欠陥中心を用いてナノ光ファイバへ結合される量子ビットの実現。

ii) ナノファイバ伝搬モードを用いる高効率で量子ビット状態のリードアウト。

本研究では最先端の光子テクノロジー(例: フォトニック結晶共振器)と小型ラジオ周波数回路を組み合わせ、現在のネットワークに直接導入可能な量子ビットの開発を

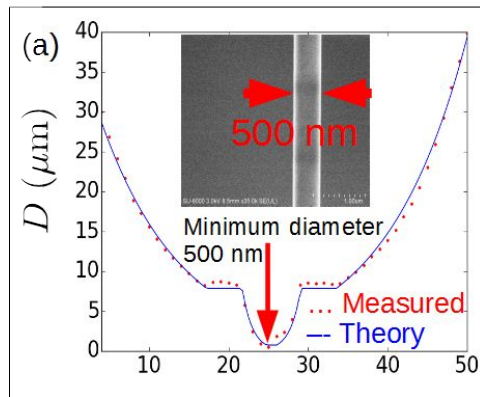


図1 ナノファイバー作成の例。赤い点
は実験データであり、青い曲線は理論で
ある。

的とする。

3. 研究の方法

研究段階は下記のように別けている。

i) 共振器用のグレーティングのデザインと作成は時間を掛かるため、研究初期から始める。グレーティングのデザインはコンピューターメモリに負担かかる数値計算が必要で、最適なデザインを見つけることはこの数値計算を別々のパラメータで何回も行わないとならないことである。本研究の最後のフェーズに間に合うためにグレーティングのデザインは下記のとおり進む。

a) 物理学的な原理を考えながら、初期パラメータを選び、共振周波数とエミッター周波数を合わせる上、Q値の高い共振モードを求める。b) パラメータスイープという数値計算を利用し、グレーティングの最適なパラメータ(グレーティング歯のデューティ、期間、他)を求める。最終的に別の数値計算によって最適なファイバー径を求め

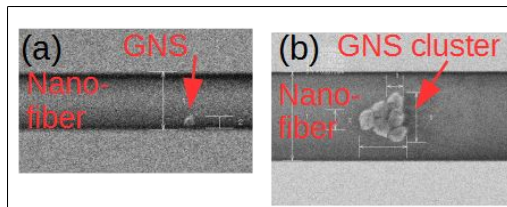


図2 ナノファイバ表面上にナノ粒子
(GNS)の導入。(a)単一粒子。(b)粒子の構
造。

る。c)最適なパラメータを選び、グレーティングの作成を頼む。d)作成されたグレーティングを受け取ったら、グレーティングとファイバーを組み合わせ、合成デバイスの評価を行う。結果によって、二次デザインが必要場合がある。

ii) 本研究で利用する量子エミッターはナノ粒子中である。そのため、ナノ粒子をナノファイバ表面に導入する必要がある。ナノ粒子の導入を行うために、コロイド系のナノ粒子を用意し、微細な針で液体中の粒子をナノファイバ表面に移る。電子顕微鏡でファイバー表面の測定の結果上、ナノ粒子の濃度及び導入方法を調整して、高確率で単一粒子が導入できるように進む。

iii) 単一ナノ粒子付きのナノ光ファイバとグレーティングを組み合わせ、合成デバイスの特徴を評価して、量子エミッターの状態リードアウトへむける。この為に顕微鏡を組み立てないと行けません。顕微鏡を用い、レーザー光を表面上のナノ粒子に照射すると発光を励起することができる。発光は高効率でナノファイバーの伝搬モードに結合して、量子エミッターの状態リードアウトが可能になる。

4. 研究成果

研究の成果は主に下記の4箇条の通りであ

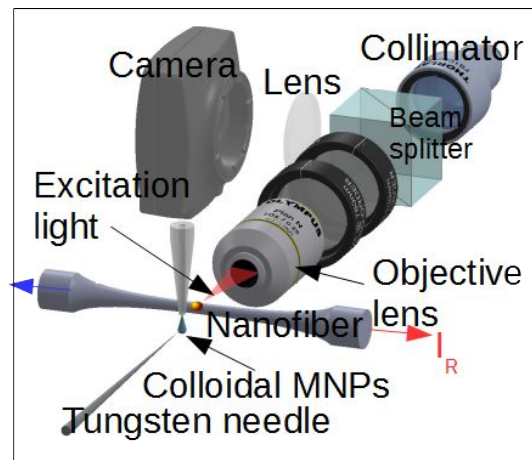


図3 ナノファイバー用の偏光顕微鏡の
設計図。

る。

i) 東北大学電気通信研究所での新たなナノファイバ実験の立ち上がり: 高透過率ナノ光ファイバの作成システムを組み、最小ナノファイバ直径が 200 nm であり、最高透過率が 98% のナノファイバを実現できた。(図 1)。

本研究で必要になるナノファイバ上のエミッター励起用の顕微鏡も立ち上げた。この顕微鏡は光の偏光状態を任意に制御できることがポイントである。図 2 で示してあるように、2 枚の波長板がビームのパスにかけこまれて、波長板の角度を回すと一般的な偏光状態が作れる。

ii) ナノファイバ共振器用のグレーティングのデザインと作成: グレーティングの一次デザインができ、グレーティング作成をいただいた。ナノファイバとの組み合わせ

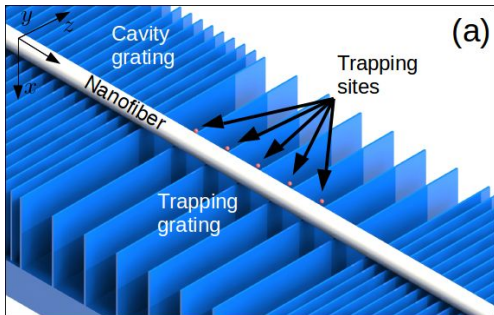


図 4 新たな方法で原子・ナノ粒子等はナノファイバ近所で閉じ込める方法。

はこれからである。

iii) ナノファイバへの準決定論的なナノ粒子導入。本研究のために単一ナノダイヤモンド結晶をナノファイバ表面上に導入しなくてはならないことである。ナノ粒子を導入するテクニックを開発し、現在はほぼ 50% の確立で単一ナノ粒子の導入ができる。図 2 のように、単一ナノ粒子とナノ粒子の構造の例が可能である。

又、ナノファイバ上のエミッター励起用の顕微鏡を利用して、粒子からの散乱光を検出して粒子の位置をしらべた。(図 3)。

iv) 原子・ナノ粒子などを共振器付きのナノファイバ表面と近くに閉じ込める新たな方法を開発した。図 4 のようにグレーティング・ナノファイバの合成デバイスの上に粒子格子の実現も可能である。更に、量子エミッタの場合、このトラップ方法はナノファイバモードへの最高の結合が可能である。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文](計 4 件)

[1] M. Sadgrove, K.P. Nayak. Composite device for interfacing an array of atoms with a single nanophotonic cavity mode. New Journal of Physics, 査読有, Accepted for publication(2017). DOI: 10.1088/1367-2630/aa6d3d

[2] N. Abe, Y. Mitsumori, M. Sadgrove, K. Edamatsu. Dynamically unpolarized single photon source in diamond with intrinsic randomness. Scientific Reports, 査読有, 7, 46722 (2017).

[3] M. Sadgrove, S. Wimberger, S. Nic Chormaic. Quantum coherent tractor beam effect for atoms trapped near a nanowaveguide. Scientific Reports, 査読有, 6, 28905 (2016). DOI: 10.1038/srep28905

[4] J. Keloth, M. Sadgrove, R. Yalla, K. Hakuta. Optical nanofiber diameter measurements using a composite photonic crystal cavity. Optics Letters, 査読有, 40, 4122-4125 (2015). DOI: 10.1364/OL.40.004122

[学会発表](計 8 件)

[1] 菅原大和, Mark Sadgrove, 三森康義, 枝松圭一. 任意の偏光状態に対するナノ導波路のキラリティの測定. 日本物理学会第 72 回年次大会 2017/03/18, 大阪大学.

[2] Pierre Vidil, 三森康義, Mark Sadgrove, 枝松圭一. Towards generalized two-qubit measurement using an hyperentangled photon source. 日本物理学会第 72 回年次大会 2017/03/18, 大阪大学.

[3] 三森康義, 常盤圭祐, Mark Sadgrove, 枝松圭一. 半導体量子ドットにおける光双安定性の出現. 日本物理学会第 72 回年次大会, 2017/03/20, 大阪大学.

[4] Mark Sadgrove. 光伝搬モードによる粒子の光学引力実現へ向けて. 第 64 回応用物理学会 2017/03/14. パシフィコ横浜.

[5] J. Keloth, M. Sadgrove, R. Yalla, K. Hakuta. Optical nanofiber diameter measurements using a composite photonic crystal cavity. 日本物理学会第 71 回年次大会 2016/03/19. 東北大学院大学

[6] M. Sugawara, M. Sadgrove, Y. Mitsumori, K. Edamatsu. ナノ光ファイバ表面上に導入された金ナノ粒子の分布. 日

本物理学会第71回年次大会 2016/03/19.
東北大学院大学

[7] M. Sadgrove, J. Keloth, R. Yalla, K. P. Nayak, K. Hakuta. Composite methods in nanofiber based quantum optics. Asian Pacific Conference and Workshop on Quantum Information 2015/11/30, The University of Auckland (New Zealand).

[8] M. Sadgrove, R. Yalla, K. P. Nayak, K. Hakuta. Cavity QED on a nanofiber. MIT - Tohoku University Research Exchange Symposium, (国際学会 2015年07月01日 ~ 2015/07/03, Massachusetts Institute of Technology (U.S.A.))

〔図書〕(計 0件)

〔産業財産権〕

出願状況(計 0件)

名称：
発明者：
権利者：
種類：
番号：
出願年月日：
国内外の別：

取得状況(計 0件)

名称：
発明者：
権利者：
種類：
番号：
取得年月日：
国内外の別：

〔その他〕
ホームページ等

6. 研究組織

(1) 研究代表者
Sadgrove Mark (SADGROVE Mark)

東北大学・電気通信研究所・准教授
研究者番号：40625000

(2) 研究分担者
()

研究者番号：

(3) 連携研究者
()

研究者番号：

(4) 研究協力者
()