

科学研究費助成事業 研究成果報告書

令和 6 年 6 月 6 日現在

機関番号：92704

研究種目：基盤研究(B)（一般）

研究期間：2021～2023

課題番号：21H01023

研究課題名（和文）微小球光キャビティとナノワイヤ振動子による巨視的フォノン量子もつれ状態の生成

研究課題名（英文）Generation of macroscopic phonon entanglement by a microsphere optical cavity and nanowire oscillators

研究代表者

岡本 創（Okamoto, Hajime）

日本電信電話株式会社 NTT 物性科学基礎研究所・フロンティア機能物性研究部・特別研究員

研究者番号：20350465

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 13,800,000 円

研究成果の概要（和文）：微小光キャビティの近接場光を用いた固体振動子間のエンタングルメント生成手法を提案し、ナノワイヤ振動子系への適用によりその実験実証を試みた。研究期間中には、量子極限変位計測に必要な超高Q値キャビティの作製や、これを振動体へ近接させた際のQ値劣化問題を解決するラマン増幅を用いた変位計測手法を提案・実証することに成功した。一方で、エンタングルメントに必要な近接間隔の高速変調に用いるアクチュエータが十分に機能せず、期間内での目標達成には至らなかった。研究の過程において高Q値キャビティが連結した新規オプトメカニカル構造を創出することに成功し、これを用いた液中環境での超高感度な振動計測を実現した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

今回提案・実証した光キャビティのラマン増幅を用いた近接場変位測定手法は様々な材質や形状から成る振動体へと適用できる汎用性の高い計測手法であり、従来のキャビティオプトメカニクス研究をこれまでにない新規系へと展開できる可能性を広げる。ナノワイヤよりも大きな構造体間のエンタングルメント生成も将来的に視野に入る。また、今回提案・実証した連結キャビティ構造を用いた高感度液中計測技術は、従来キャビティオプトメカニクス技術の適用が困難であった液体環境での研究展開を可能とする新技術であり、センサ・材料開発・創薬などの応用の他、液体界面の物理探索や局所的な液中反応の解明など、新たな研究領域の開拓につながる。

研究成果の概要（英文）：We proposed a method for generating entanglement between solid-state oscillators using near-field light in an optical microcavity, and attempted to demonstrate it experimentally by applying it to nanowire oscillators. During the research period, we succeeded in not only fabricating an ultra-high-Q cavity necessary for quantum limited displacement measurements but also proposing and demonstrating displacement measurements using Raman amplification to solve the problem of Q deterioration when bringing this cavity close to a vibrating body. Although the demonstration was successful, the actuator used for high-speed modulation of the close distance required for entanglement did not function sufficiently, and the goal could not be achieved within the period. Meanwhile, in the course of our research, we succeeded in creating a new optomechanical structure in which high-Q cavities are connected, and achieved ultra-sensitive vibration measurement in an in-liquid environment.

研究分野：ナノメカニクス

キーワード：振動 光 結合 共振器

1. 研究開始当初の背景

量子力学の世界では、離れている2つの粒子が非古典的に相関する「量子もつれ」状態が存在する。このような量子もつれ（エンタングルメント）がマクロスコピックな固体間で観測できるか否かは長年にわたる学術的な「問い」となってきた。とりわけ、多数原子を含んだ固体振動子などの巨視的フォノン系におけるエンタングルメントの生成は挑戦的な研究課題であったが、2018年にそのようなエンタングルメントの生成が Delft 工科大学と Aalto 大学のグループによりそれぞれ報告された。前者は機械的自由度を有するフォトニック結晶光共振器のコピーを用意し、2つの共振器から散乱される光を合流させることにより共振器間の機械振動がもつれた状態を生成することに成功した。一方、後者は超伝導マイクロ波共振器と2つのドラム型機械振動子が電極配線を介して結合した構造を用意し、振動子間の圧搾（スクイーズド）状態の生成によりエンタングルメントを実現した。これら2つの先駆的研究は、学術的なインパクトのみならず、振動子を用いた量子メモリや量子中継器などの応用につながる重要な一歩として大きく注目される。一方で、これらの従来手法では共振器と振動子間の結合を直接制御できないという難点がある。そのため、共振器と振動子をパラメトリックに結びつけなければならず、振動子の周波数が共振器の共鳴線幅を上回る resolved sideband 条件が必要となる。これを満たすため、前者は光共鳴（196 THz）の線幅を上回る 5 GHz の振動子を使用し、後者はドラム型振動子の周波数（10 MHz）よりも線幅の細いマイクロ波共鳴（5.5 GHz）を利用している。このような条件を課すことなく振動子間にエンタングルメントを生成する有効な手法があれば、使用できる構造や周波数領域が格段に広がり、外力に敏感な軽量振動子や電荷・スピンを組み込んだハイブリッド振動子など、幅広い機械振動子系を用いた量子計測や量子情報処理への展開が広がる。また、各振動子への電気/光配線が不要な新しい有効手法が見つければ、エンタングルメント生成が簡便になるのみならず、多体系への展開が視野に入る。

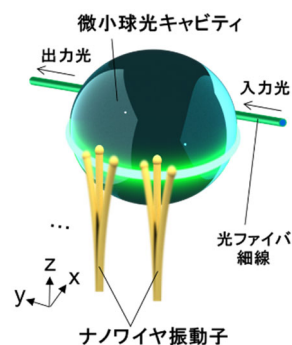
2. 研究の目的

本研究では上記の課題を取り上げ、resolved sideband 条件や振動子への個別配線が不要な新しいエンタングルメント生成手法の提案とその実験実証へ向けた研究に取り組む。

3. 研究の方法

本研究で提案する手法は、2つの機械振動子が1つの光共振器（キャビティ）と近接場光を介して結合した構造に基づく。具体的な例として、球状シリカからなる Whispering-Gallery 型の光キャビティと、2つの半導体ナノワイヤ振動子の近接場結合を考える。この系における光機械結合の大きさは光キャビティとナノワイヤ振動子間の近接間隔に強く依存するため、振動子とキャビティとの間隔を調節できる機構を有していれば光機械結合を直接制御することが理論的に可能である。そのような構成は、ナノワイヤ振動子を基板ごとポジションナ（圧電素子）に設置すれば良い。この場合、ポジションナへの電圧印加により電氣的に光機械結合を制御する構成である。上記の光機械結合系における重要な点は2つの機械振動子が光キャビティを介して互いに相互作用する点である。例えば、ポジションナで基板位置を変化させることにより1つの振動子と光キャビティとの近接間隔が変わると、屈折率の変化を介して実効的なキャビティ長が変わり、光共鳴周波数が変化する。よって、他の振動子も影響を受ける。つまり、振動子間に相互作用が存在する。この相互作用は光機械結合に依存するため、例えば基板位置を交流電圧で変調できれば、直接的に振動子間の相互作用を変調することができる。この特性を利用すれば、光キャビティと振動子をパラメトリックに結びつける必要は無く、基板位置を各振動子の和周波で変調することにより、互いの振動子が相関したスクイーズド状態を直接生成できるだろう。この手法では resolved sideband 条件を課す必要が無いため、通信波長帯の光キャビティを用いるこの例においても GHz 域の高周波振動子を用意する必要が無く、ナノワイヤのような数 MHz の振動子を使用するのが利点となる。

本研究の目的達成のためには、ナノワイヤ振動子の量子極限レベルの変位検出感度の獲得と、2つの振動子間の室温環境における古典的スクイーズド状態の生成をまずは実現せねばならない。上記の検出感度を達成するには直径 30 μ 程度にまで微小化された球状の光キャビティで 10^7 を超える高い Q 値を達成する必要がある。本研究では精密な微細ガラス加工機を導入することにより、そのような高品質な微小球キャビティの作製に取り組む。また、波長の異なる複数のレーザー光源を導入し、振動の検出と制御を独立して行えるポンプ・プローブ測定系の構築に取り組む。作製した光キャビティを2つのナノワイヤ振動子に近接結合させ、2つの振動子の和周波で近接間隔を変調することによりスクイーズド状態の生成に挑む。室温での古典的スクイーズド状態の生成が実現した暁には、素子を希釈冷凍機に入れ、極低温での非古典的スクイーズド状態の生成に取り組む計画とする。



4. 研究成果

(1) 高Q値シリカ微小球光キャビティの作製と近接場光ポンプ・プローブ測定系の構築

クラッド径 125 μm の光ファイバを加熱延伸方式により 10 μm 径程度にまで細線化した後に一端を切断し、その端面をファイバ加工機で放電処理することにより、細線ファイバの先端に球状形成された直径 30 μm 程度の微小光キャビティを作製した (図1中の顕微鏡像を参照)。これに直径を波長サイズ程度 (1.5 μm 程度) にまで極細線化した通信波長帯光ファイバを直交接触させることにより、光キャビティの側壁を周回する Whispering Gallery Mode の検出を行い、光学Q値が 2×10^7 であることを確認した。また、振動の励起と測定を独立して行えるよう周波数の異なる2つのレーザー光源を導入し、ポンプ・プローブ測定系を構築した (図1参照)。

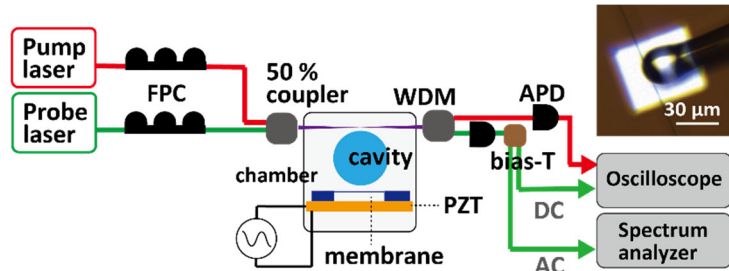


図1. 近接場光ポンプ・プローブ測定系の概略図と作製した微小球光キャビティの光学顕微鏡像。キャビティ下方にはラマン増幅実験で用いた SiN メンブレンを示してある。

(2) 光キャビティのラマン増幅を用いた微小振動測定の高感度化

作製した光キャビティを直径 500nm 程度のナノワイヤ振動子に近接させた場合、キャビティからナノワイヤへの光の散逸が生じ、光学Q値が1桁程度劣化してしまう事象に遭遇した。この問題を解決するため、申請者らは光キャビティの構成材料であるシリカの光学フォノンによるラマン光増幅効果を利用する技術の確立を目指した。シリカの光学フォノンは 10-15THz の周波数に吸収を有する。そこで、図1に示したポンプ・プローブ測定に用いるポンプレーザーとプローブレーザーの周波数差がシリカの光学フォノン共鳴周波数と合致する2種類の光源 (1475 nm, 1570 nm) を用意した。プローブ光の共鳴周波数とシリカの光学フォノン共鳴周波数の和周波がポンプ光の共鳴周波数に合致するこの場合には、ポンプ光強度の増加によりプローブ光共鳴のQ値を向上させ、且つ、キャビティに入る光子の数を増やすことができる。この際のプローブ光Q値とキャビティ中の光子数は機械振動を近接場検出する際の感度を決定する因子となるので重要である。図2左はQ値の変化と光子数の変化を実験的に確認した光透過スペクトルのポンプ光強度依存性である。ポンプ光強度が大きな場合には透過率が下がり、キャビティに入る光子数が増加していることが見て取れる。この結果は理論計算値 (図2右) と良く一致し、ラマン増幅により近接場を用いた振動検出の感度を向上できる可能性が実験的に示された。次に、この手法を用いて実際に振動子の振動検出信号を増幅できるかを確認する実験を行った。ここでは、近接場測定する際に振動子への光散逸が無視できるほど小さくなる厚さ 50nm の超薄膜 SiN メンブレンを用い、他の散逸の影響を排除した状態でラマン増幅が振動検出に有効であるかを確認した (図1参照)。その結果、ポンプ強度を上げた際に検出信号が増幅されることが確認され、ラマン増幅手法の有効性が確認された (図3参照)。今回提案・実証したこの手法は、光キャビティの近接による散逸問題が発生する一般的な振動体構造に広く適用可能であり、様々な材質や形状からなる振動子の高感度測定を可能とする汎用性の高い新しい振動検出手法と言える。

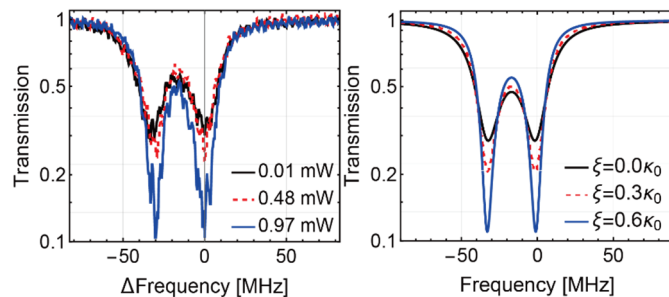


図2. プローブ光透過スペクトルのポンプ光強度依存性 (左) とその理論計算値 (右)。2つに分かれた光共鳴は右回りと左回りの Whispering Gallery Mode に相当する。

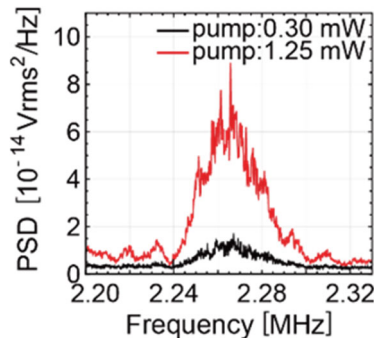


図3. ポンプ光強度が弱い場合と強い場合の振動スペクトルの相違。

(3) 圧電素子を用いた光キャビティとナノワイヤ振動子の近接間隔の変調

次に取り組んだのは、作製した光キャビティとナノワイヤ振動子の近接間隔をアクチュエータで変調する試みである。スクイーズド状態の生成には2つのナノワイヤ振動子の和周波で近接間隔を変調する必要がある。今回用いるナノワイヤ振動子の周波数は1.2-1.3MHzであるから、2.5MHz程度でナノワイヤ振動子を載せた基板ごと圧電アクチュエータで電氣的に変調する必要がある。これを試みるため交流電圧をアクチュエータに印加したところ、圧電素子が発熱し、素子と基板の接着に使用していた粘着テープが溶け、ナノワイヤ振動子がダメージを受けてしまった。この当初想定していなかったトラブルにより、研究期間内にスクイーズド状態の生成を実現するまでには至らなかった。基板変調には100nm程度の変位を誘起できる高速アクチュエータの使用が必要となるが、そのような変位量の大きなアクチュエータをメガヘルツ周波数で駆動した際に生じる発熱問題が技術的なバリアとして立ちはだかっている。現在ナノワイヤ振動子を作製し直し、別な変調手段を利用できないか検討中である。

(4) 2つの電極を用いた架橋ナノワイヤ振動子のベクトル周波数制御

本研究の実施中に派生した幾つかの新しい技術を提案・実証することに成功したのでその成果も報告する。その一つは、ナノワイヤ振動子のベクトル周波数制御である。ここで言うベクトル制御とは、異なる振動モードの周波数を独立に制御するという意味である。ナノワイヤのような円筒形状の物体では振動方向が互いに直交した2つの振動モードがほぼ同じ周波数に現れるが、取り扱う際にはこれらのモードを周波数的に切り離して利用する必要がある。それを実現するには2つのモードを独立に周波数制御する必要があるが、そのような技術はこれまで確立していなかった。今回、架橋したナノワイヤ振動子の直下と側面に微小ギャップを介して形成した2つの電極（図4参照）を用いて、2つの振動モード周波数を独立に制御することに成功した。バックゲート電極とサイドゲート電極に印加する電圧の大きさを逆計算することにより、一方のモード周波数を固定して他方の周波数を掃引する操作や、2つのモード周波数を同時に同程度変化させる操作に成功した（図5参照）。

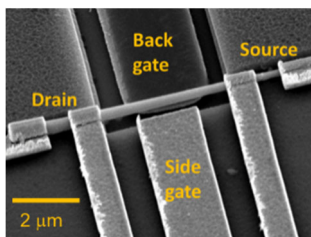


図4. 作製した架橋ナノワイヤ振動子の電子顕微鏡像。

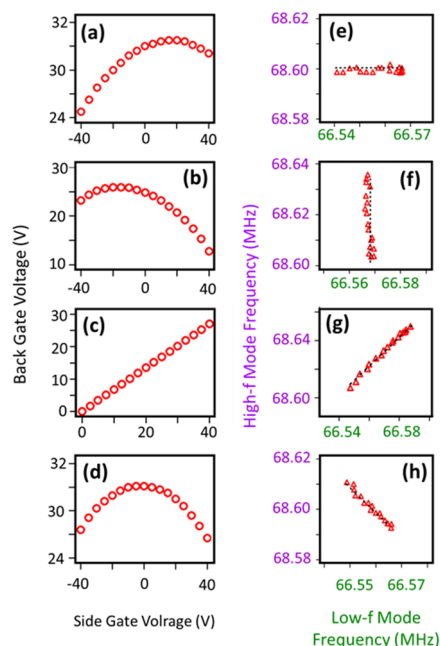


図5. 電圧印加による直交した2つの振動モードの周波数制御。

*Phys. Rev. Appl. 誌掲載 (2022年4月)

(5) 連結光キャビティのオプトメカニカル相互作用を用いた液中での高感度振動計測

本研究の実施中に生み出したもう一つの新しい技術は、光キャビティが連結した構造を用いた全く新しい液体中での高感度振動計測技術である。本研究でガラスファイバの微細加工技術を高めていく中で、ボトル形状の光キャビティを2つ連結させた構造を作製することに成功した（図6参照）。各ボトルは光が側壁を周回するWhispering Gallery Mode光キャビティとして機能するのみならず、ボトルが動径方向に伸縮運動する機械共振器としても機能する。つまり、ボトル内で光と機械振動が相互作用する光機械共振器となっている。また、2つのボトルの機械振動は連結部分のくびれを介して結合する。従って、一方のボトルの振動がもう一方のボトルへ伝わる構造となっている（図7参照）。この連結ボトルを図7のように液体へ浸し、空気中に出ているボトルに細線化した光ファイバを直交接触させると、液中ボトルの機械振動を空気中のボトルを用いて高感度に光検出することができる。従来、光機械共振器を用いた振動検出を液体環境で実施する際に



図6. 連結光キャビティの光学顕微鏡像（2つのボトルに色付けてある）。

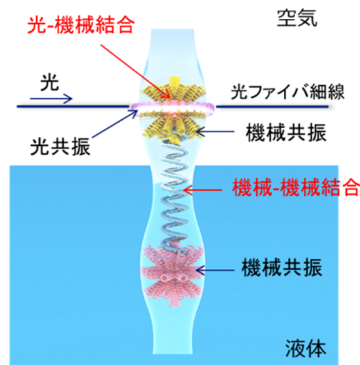


図7. 連結ボトルを用いた液中センサの概念図。

は、光が液体にさらされることによる散逸の影響により検出感度が大幅に劣化する問題があったが、今回提案した手法により、そのような問題が回避され、液中での高感度振動検出が実現する。本手法の最大の利点は、液体中の任意の位置にアプローチできるという点である。それを実験的に示した結果が図8である。ここでは水と油の領域に分かれた液体を用意し、連結ボトルを水領域に挿入した場合と油領域に挿入した場合の侵入深さに対する機械振動モードの周波数と線幅の変化を表したものである。機械振動子が液体と相互作用すると液体の粘性や密度の影響により振動モードの周波数と線幅が変化する。その大きさは液体の特性に依存するため、液体の局所的な特性を評価することができる。実験的に得られた値は理論値との良い一致を示し、本手法が液体の局所情報を測ることができるプローブとして機能することが確認された。

*Sci. Adv. 誌掲載 (2022年11月)

また、液中質量センサとしての能力を評価する実験も行った。機械振動子に質量が付着すると振動モードの周波数が変化するため、検出限界を評価するには、振動モードの周波数ゆらぎ量を評価すれば良い。この評価実験を行った結果、図6に示した連結ボトルを用いた場合には質量検出限界が 7.6×10^{-12} g であることが分かった (Sci. Adv. 誌参照)。しかしながら、この値はまだ改善の余地があり、単一バクテリアなどを対象とした超高感度な液中質量検出の実現には更なる感度向上が必要である。そこで次に、センサの有効質量を低減するためのボトル形状の最適化と、周波数揺らぎを低減できる位相同期ループを用いた光測定手法を組み合わせることにより、検出感度を4桁向上し、単一バクテリアの質量程度に相当するサブフェムトグラム (7.0×10^{-16} g) の分解能を達成した。本成果は、液中での超高感度な質量検出技術として、化学・バイオ・レオロジー・材料・医療など多岐にわたる学術・産業分野への貢献が期待できる。

*Appl. Phys. Exp. 誌掲載 (2023年3月)

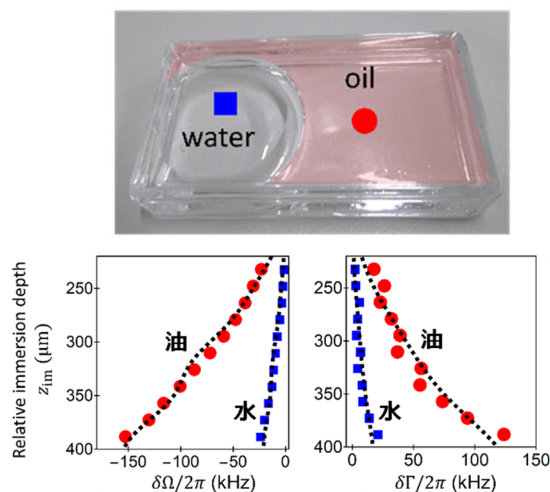


図8. 水と油の領域に分かれた液体の光学顕微鏡像(上)と連結ボトルで測定した各領域での振動モードの周波数(左下)と線幅(右下)の液体侵入深さ依存性。プロットは実験値、点線は理論値。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計16件（うち査読付論文 12件 / うち国際共著 0件 / うちオープンアクセス 2件）

1. 著者名 Motoki Asano, Hiroshi Yamaguchi, Hajime Okamoto	4. 巻 16
2. 論文標題 Cavity optomechanical mass sensor in water with sub-femtogram resolution	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Applied Physics Express	6. 最初と最後の頁 32002
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.35848/1882-0786/acbd0d	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Motoki Asano, Hiroshi Yamaguchi, Hajime Okamoto	4. 巻 8
2. 論文標題 Free-access optomechanical liquid probes using a twin-microbottle resonator	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Science Advances	6. 最初と最後の頁 eabq2502
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1126/sciadv.abq2502	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 Wataru Tomita, Satoshi Sasaki, Motoki Asano, Kohta Tateno, Hajime Okamoto, and Hiroshi Yamaguchi	4. 巻 17
2. 論文標題 Double-Gate Vectorial Frequency Control in Piezoresistive Nanowire Electromechanical Devices	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Physical Review Applied	6. 最初と最後の頁 44042
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1103/PhysRevApplied.17.044042	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Motoki Asano, Hiroshi Yamaguchi, and Hajime Okamoto	4. 巻 21
2. 論文標題 Fiber-type optomechanical array using high-Q microbottle resonators	5. 発行年 2024年
3. 雑誌名 Physical Review Applied	6. 最初と最後の頁 24013
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1103/PhysRevApplied.21.024013	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Motoki Asano, Hiroshi Yamaguchi, and Hajime Okamoto	4. 巻 Th6
2. 論文標題 A highly sensitive optomechanical liquid level meter based on a twin-microbottle resonator	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Proceeding of the 28th International Conference on Optical Fiber Sensors	6. 最初と最後の頁 43
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1364/OFS.2023.Th6.43	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 浅野元紀、山口浩司、岡本 創	4. 巻 52
2. 論文標題 連結ボトル構造を用いた液中オプトメカニカルセンサー	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 光学	6. 最初と最後の頁 247
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 佐々木智、館野功太、岡本 創、山口浩司	4. 巻 2月号
2. 論文標題 インクジェット技術を用いた架橋ナノワイヤ電気機械素子の作製	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 NTT技術ジャーナル	6. 最初と最後の頁 47-50
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 浅野元紀、章 国強、山口浩司、岡本 創	4. 巻 2月号
2. 論文標題 光キャビティを用いたナノワイヤ振動子の子感度検出と制御	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 NTT技術ジャーナル	6. 最初と最後の頁 43-46
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Ryoko Sakuma, Motoki Asano, Hiroshi Yamaguchi, and Hajime Okamoto	4. 巻 32
2. 論文標題 Near-field optomechanical transduction enhanced by Raman gain	5. 発行年 2024年
3. 雑誌名 Optics Express	6. 最初と最後の頁 22590-22601
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

[学会発表] 計31件 (うち招待講演 7件 / うち国際学会 18件)

1. 発表者名 Motoki Asano, Hiroshi Yamaguchi, and Hajime Okamoto
2. 発表標題 Cavity optomechanical liquid prober using a twin-microbottle resonator
3. 学会等名 Frontiers of Nanomechanical Systems Workshop 2023 (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 Motoki Asano, Hiroshi Yamaguchi, and Hajime Okamoto
2. 発表標題 An optomechanical prober in liquid with twin microbottle resonators
3. 学会等名 International Workshop on Nanomechanical Sensing 2022 (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Wataru Tomita, Satoshi Sasaki, Motoki Asano, Kohta Tateno, Hajime Okamoto, and Hiroshi Yamaguchi
2. 発表標題 Vectorial frequency control of two orthogonal vibration modes in a double-gate nanowire mechanical resonator device
3. 学会等名 The Compound Semiconductor Week 2022 (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 浅野 元紀、山口 浩司、岡本 創
2. 発表標題 連結ボトル共振器を用いた液中オプトメカニカルプローバの質量分解能
3. 学会等名 第70回応用物理学会春季学術講演会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 浅野 元紀、山口 浩司、岡本 創
2. 発表標題 2連結ボトル共振器を用いた液中オプトメカニカルプローバ
3. 学会等名 第83回応用物理学会秋季学術講演会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Hiroshi Yamaguchi, Wataru Tomita, Satoshi Sasaki, Kohta Tateno, and Hajime Okamoto
2. 発表標題 Dual-mode and Dual-gate Nanowire Electromechanical Resonator Devices
3. 学会等名 20th International Conference on Modulated Semiconductor Structures (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Motoki Asano, Hiroshi Yamaguchi, and Hajime Okamoto
2. 発表標題 An optomechanical array based on a glass fiber
3. 学会等名 19th International Workshop on Nanomechanical Sensing (国際学会)
4. 発表年 2024年

1. 発表者名 Ryoko Sakuma, Motoki Asano, Hiroshi Yamaguchi, and Hajime Okamoto
2. 発表標題 High-sensitive optomechanical detection scheme using a Raman-gain-enhanced cavity
3. 学会等名 19th International Workshop on Nanomechanical Sensing (国際学会)
4. 発表年 2024年

1. 発表者名 Motoki Asano, Hiroshi Yamaguchi, and Hajime Okamoto
2. 発表標題 A highly sensitive optomechanical liquid level meter based on a twin-microbottle resonator
3. 学会等名 28th International Conference on Optical Fiber Sensors (国際学会)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 浅野 元紀、山口 浩司、岡本 創
2. 発表標題 連結ボトル構造からなる共振器オプトメカニカルアレイ
3. 学会等名 日本物理学会 年次大会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 浅野 元紀、山口 浩司、岡本 創
2. 発表標題 連結ボトル共振器を用いたフェムトグラム分解能の水中質量センサ
3. 学会等名 応用物理学会 秋季学術講演会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 浅野元紀、佐久間涼子、山口浩司、岡本 創
2. 発表標題 ガラスファイバを用いた共振器オプトメカニクス
3. 学会等名 第6回固体化学フォーラム研究会（招待講演）
4. 発表年 2024年

1. 発表者名 浅野元紀、山口浩司、岡本 創
2. 発表標題 連結ボトル構造を用いたメカニカルコムの変搬
3. 学会等名 日本物理学会 2024年春季大会
4. 発表年 2024年

1. 発表者名 浅野元紀、山口浩司、岡本 創
2. 発表標題 連結ボトル共振器を用いた超高感度液面計の計測分解能
3. 学会等名 2024年第71回 応用物理学会春季学術講演会
4. 発表年 2024年

1. 発表者名 佐久間涼子、浅野元紀、山口浩司、岡本 創
2. 発表標題 光キャビティのラマン増幅を用いた薄膜振動の近接場計測
3. 学会等名 2024年第71回 応用物理学会春季学術講演会
4. 発表年 2024年

1. 発表者名 浅野元紀、山口浩司、岡本 創
2. 発表標題 連結ボトル共振器を用いた液中オプトメカニカルプローバの質量分解能
3. 学会等名 第70回応用物理学会春季学術講演会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 浅野元紀、山口浩司、岡本 創
2. 発表標題 2連結ボトル共振器を用いた液中オプトメカニカルプローバ
3. 学会等名 第83回応用物理学会秋季学術講演会
4. 発表年 2022年

〔図書〕 計0件

〔出願〕 計7件

産業財産権の名称 光機械素子	発明者 浅野元紀、酒井洸 児、高橋陸、山口浩 司、岡本創	権利者 同左
産業財産権の種類、番号 特許、PCT/JP2022/029616	出願年 2022年	国内・外国の別 国内

産業財産権の名称 光機械素子、計測装置、および計測方法	発明者 浅野元紀、酒井洸 児、高橋 陸、山口浩 司、岡本 創	権利者 同左
産業財産権の種類、番号 特許、PCT/JP2022/029616	出願年 2022年	国内・外国の別 国内

産業財産権の名称 光機械センサ	発明者 浅野元紀、酒井洸 児、高橋 陸、山口浩 司、岡本 創	権利者 同左
産業財産権の種類、番号 特許、PCT/JP2021/043799	出願年 2021年	国内・外国の別 国内

産業財産権の名称 光機械アレイ素子	発明者 浅野元紀、山口浩 司、岡本 創	権利者 同左
産業財産権の種類、番号 特許、PCT/JP2021/023160	出願年 2021年	国内・外国の別 国内

〔取得〕 計0件

〔その他〕

NTT物性科学基礎研究所ナノメカニクス研究グループHP http://www.brl.ntt.co.jp/group/butsume-g/
--

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究分担者	浅野 元紀 (Asano Motoki) (60867224)	日本電信電話株式会社NTT物性科学基礎研究所・フロンティア機能物性研究部・研究主任 (92704)	
研究分担者	章 国強 (Zhang Guoqiang) (90402247)	日本電信電話株式会社NTT物性科学基礎研究所・フロンティア機能物性研究部・主任研究員 (92704)	
研究分担者	太田 竜一 (Ohta Ryuichi) (90774894)	日本電信電話株式会社NTT物性科学基礎研究所・フロンティア機能物性研究部・主任研究員 (92704)	

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関
---------	---------