

研究種目：基盤研究（A）

研究期間：2006-2009

課題番号：18206008

研究課題名（和文） 放射圧を利用した非破壊光子検出法の開発

研究課題名（英文） Development of non-destructive photon detection method using radiation pressure

研究代表者

笹木 敬司（SASAKI KEIJI）

北海道大学・電子科学研究所・教授

研究者番号：00183822

研究分野：工学

科研費の分科・細目：応用光学、量子光工学

キーワード：超精密計測、光ピンセット、微小共振器、マイクロ・ナノデバイス、量子エレクトロニクス

### 1. 研究計画の概要

本申請研究では、放射圧を利用して光子の状態を保ったまま光子を検出するという全く新しいアイデアに基づく光物理計測手法を開発する事を目的としている。実現に向けた課題としては、a) 光子 1 個レベルを検出するために光子場を増強する手法の考案、b) 極めて高感度な力測定技術の開発および熱雑音の抑制技術の確立、が挙げられる。これらの達成のため本研究では、以下の課題を設定し、研究を行っている。

（1）光共振器において発生する放射圧の理論的解析とシステムの設計（H18）

微小共振器における電磁界分布や力学的応答について数値シミュレーションを行い、必要な実験条件を見積もった上で、非破壊光子検出システムを設計する。

（2）超高感度フォトンフォース計測システムの試作と性能評価（H18）

上記で得られた設計指針に基づきシステムを試作する。システム評価のための初期実験として作製が容易なファブリ・ペロー共振器を用い、ナノワット以下の微弱光の無損失計測の実現を目指す。

（3）低温低圧条件による雑音軽減と検出限界の向上（H19）

感度・精度に限界を与える熱雑音の軽減を目指し、マイクロクライオスタットの本システムへの導入を行う。

（4）テーパーファイバ結合微小球共振器を用いた光子検出（H19-H20）

高 Q 値の共振器構造としてテーパーファイバ結合微小球共振器系を用いたシステムの構築を行う。高 Q 値の微小球共振器に発生する増強エバネッセント場によるテーパーフ

アイバ位置の変位をモニタすることにより、超高感度光強度計測の実現を目指す。

（5）単一分子・バイオフォトンクス、光量子情報技術への応用（H21）

開発したシステムを用い、単一分子の微弱発光の時空間特性の計測や細胞内の蛍光タンパクの動的挙動を高感度・高精度に解析する研究への応用を試みる。

### 2. 研究の進捗状況

（1）光共振器において発生する放射圧の理論的解析とシステムの設計

微小共振器の Q 値に対応して得られる光増強度の見積りを行った。その結果得られる変位量や実験装置の位置検出感度等の試作に必要な実験条件の見積りを行った。これらの結果をもとにファイブリー・ペロー共振器を元にしたシステムの設計を行った。

（2）超高感度フォトンフォース計測システムの試作と性能評価

試作の前にミラー変位を測定する為の AFM システムの評価を行った。金コートした AFM プローブに放射圧測定用のレーザー光を入射しながら、AFM プローブの変位を測定した。その結果、得られた AFM の形状像が光入射の ON-OFF や強度に従って変化する様子を確認し、観測に必要な光量や感度について見積りを行った。現在、これらの知見をもとに金コート AFM プローブを片側ミラーとしたファブリ・ペロー共振器を含むシステムの試作を行っている所である。既に装置に必要な装置部品の

選定・購入を終え、試作システムの構築を行っている所である。

(3) 低温低圧条件による雑音軽減と検出限界の向上

構築したフォトフォース計測システムにあわせて低温装置を設計・構築する必要があるため、本実験課題は現在遂行を見合わせている。システムが稼働次第、設計を行い、構築を進める予定である。

(4) テーパーファイバ結合微小球共振器を用いた光子検出

テーパーファイバを作製するための装置の設計、構築を終了し、最適なテーパー形状を得る為の作製パラメータの探索を行った。その結果、安定して  $1\mu\text{m}$  程度のテーパー径をもつテーパーファイバの作製が可能となった。また、このテーパーファイバと微小球共振器を結合する為の測定系の作製を行い、テーパーから微小球やトロイド共振器へとまだ 100%では無いものの高効率なカップリングを観測している。

### 3. 現在までの達成度

②おおむね順調に進展している

低温系での実験系の構築までには至っていないものの、微小球やファブリーペロー共振器を用いた測定システムの各要素技術の立ち上げは順調に進んでおり、装置系の構築が出来次第、微弱光レベルでの光子検出は近日中に可能であると考えている。

### 4. 今後の研究の推進方策

今後は継続中の上記(2)、(4)のシステム構築を速やかに終了し、システムの評価に移りたいと考えている。評価のため、まずは常温常圧下におけるナノワットレベルの微弱光検出を目指す。また、同時に低温装置の設計を進め、熱雑音の軽減を目指した装置構成への改良も同時に進める予定である。

### 5. 代表的な研究成果

(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 14 件)

- ① H. Fujiwara, Y. Hamabata, and K. Sasaki, “Numerical analysis of resonant and lasing properties at a defect region within a random structure”, *Opt. Exp.*, 17,5, 3970-3977, 2009, 査読有
- ② R. Okamoto, J. L. O'Brien, H. F. Hofmann, T. Nagata, K. Sasaki, and S. Takeuchi, “An Entanglement Filter”, *Science*, 323, 483-485, 2009, 査読有
- ③ D. Kawase, Y. Miyamoto, M. Takeda, K. Sasaki and S. Takeuchi, “Observing Quantum Correlation of Photons in Laguerre-Gauss Modes Using the Gouy

Phase”, *Phys. Rev. Lett.*, 101, 050501/1-4, 2008, 査読有

- ④ H. Takashima, H. Fujiwara, S. Takeuchi, K. Sasaki and M. Takahashi, “Control of spontaneous emission coupling factor  $\beta$  in fiber-coupled microsphere resonators”, *Appl. Phys. Lett.*, 92,7, 07115/1-3, 2007, 査読有
- ⑤ Y. Kawabe, H. Fujiwara, R. Okamoto, K. Sasaki and S. Takeuchi, “Quantum interference fringes beating the diffraction limit”, *Opt. Exp.*, 15,21, 14244-14250, 2007, 査読有

[学会発表] (計 17 件)

[その他]

ホームページ

<http://optsys2.es.hokudai.ac.jp/>