

自己評価報告書

平成 23 年 4 月 20 日現在

機関番号：14401

研究種目：新学術領域研究

研究期間：2008～2012

課題番号：20104003

研究課題名（和文） 半導体発光素子による光子数量子状態発生と量子光学

研究課題名（英文）Quantum optics and nonclassical state generation using semiconductors

研究代表者

井元 信之（IMOTO NOBUYUKI）

大阪大学・大学院基礎工学研究科・教授

研究者番号：00313479

研究分野：数物系科学

科研費の分科・細目：物理学 原子・分子・量子エレクトロニクス

キーワード：量子情報処理 単一光子 エンタングルメント 非線形光学効果 動的多体量子効果 微小共振器 光子統計 量子トモグラフィ

1. 研究計画の概要

量子力学の非局所相関を利用した超並列の情報処理や究極の信頼性を保証する暗号通信を可能とする量子情報技術は未来技術として期待が大きい。ここで必須となる、単一光子光やエンタングル光を発生するためには、光と物質の相互作用を究極的に制御する必要がある。究極の制御の本質は、光を微小な空間に閉じこめる技術と、その空間に物質系の強い非線形性や光増幅機能などの能動機能を誘起することであり、フレクスルとなる物質科学の展開が待たれている状況である。本領域で追求する多体電子正孔系に内在する相関効果はこれらの際だった光効果を発現する潜在力を有する。本課題では、A02・A04 班との密接な協力により、電子系の多体相関効果を活用して新しい量子光学光源を得る技術を開拓する。具体的には、ナノ構造を利用したモード純度の高い微小共振器レーザー、量子ドット中の多励起子相関を利用したエンタングル光子対発生、増強した非線形性によるカー効果デバイス、量子縮退した励起子あるいは励起子分子系を用いた広帯域光パラメトリック過程や2光子増幅の活用である。量子情報技術としてのニーズを物質科学の研究者にフィードバックすることで、次世代技術である量子情報技術に資する光物質科学の展開に貢献する。

2. 研究の進捗状況

光の非古典的状態発生及び非局所性を示すエンタングルメント光発生はもとより、その究極的な制御と測定技術の開拓が求められている。その際、シーズオリエンテッドでなく「量子情報通信研究のニーズからシーズ

研究へのフィードバック」が欠かせず、そのような視点での研究はこれまであまりなかった。本新学術領域では異なる立場の研究グループのコラボレーションにより、この観点の研究が可能となっている。特に本研究課題ではニーズからシーズへのフィードバックに重点を置いているが、手法としては理論研究の実績を応用することと、実験としては内部的には光子計測、新たな展開としては外部グループとの研究協力を行っている。

- (1) 平成 21 年度までは半導体量子ドットやダイヤモンドのカラーセンター等により発生される不完全な単一光子に有用な長距離量子暗号方式を提案することが出来、論文発表を行った。平成 22 年度はさらに進めた理論について国際会議発表を行った。
- (2) より長距離の通信を実現するためには量子メモリや量子非破壊測定等を駆使した量子リピーターの実現が重要となる。昨年度に提案を行ったコヒーレント光と共振器結合原子系あるいは半導体量子ドット系との相互作用を用いた量子リピーターの研究をさらに進めた方法を検討し、発表済み論文および執筆中論文がある。
- (3) 共振器結合系への実験的アプローチとしてマイクロトroid共振器を利用した光の遅延を観測することに成功した。現在論文執筆中である。

3. 現在までの達成度

当初の計画以上に進展している。
(理由) 不完全な単一光子を用いた量子暗号の理論が一つの目標であったが、その一般化まで手がけることができた。またマイクロ

ロイド共振器実験研究は当課題のグループとしては初めて挑戦する分野であり、準備に3年かかると考えていたが、これまでより最も大きな光遅延の観測までこぎつけた。

4. 今後の研究の推進方策

平成23年度は半導体量子ドットを用いた光源で達成できる「サブポアソン傾向」を理論解析すると共に、それを実験的に評価する実験系の提案を行う。また、マイクロロイダル共振器については必須となる slowing down の実験を確立し、光・光制御に到達する。また、マイクロロイダル共振器により増強された非線形効果を利用した高効率の光子対発生を行い量子情報処理の進展に寄与する。

平成24年度は、23年度に提案する光源評価方法を利用した新しい光子統計計測の基礎実験まで行い、今後の半導体量子ドットを用いた光源に対する新たな計測方法を確立する。また、光子レベルの光 Kerr 効果を利用したマイクロロイダル共振器を用いた光子数 QND 測定の実現追求し、その実現を目指す。

いずれの年度も本領域の他のグループ、特に半導体量子ドット実験研究グループおよび理論担当グループとの協力のもとに進める。

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9件)

Efficient decoherence-free entanglement distribution over lossy quantum channels" Rikizo Ikuta, Yohei Ono, Toshiyuki Tashima, Takashi Yamamoto, Masato Koashi, and Nobuyuki Imoto, Phys. Rev. Lett. 106, 110503 (2011). 査読あり

"Demonstration of Local Expansion Toward Large-Scale Entangled Webs" Toshiyuki Tashima, Tsuyoshi Kitano, Sahin Kaya Ozdemir, Takashi Yamamoto, Masato Koashi, and Nobuyuki Imoto: Phys. Rev. Lett. 105, 210503 (2010). 査読あり

"Local Transformation of Two Einstein-Podolsky-Rosen Photon Pairs into a Three-Photon W State" Toshiyuki Tashima, Tetsuroh Wakatsuki, Sahin Kaya Ozdemir, Takashi Yamamoto, Masato Koashi, and Nobuyuki Imoto, Phys. Rev. Lett. 102, 130502 (2009).

査読あり

"Quantum nondemolition measurement of photon number via optical Kerr effect in an ultra-high-Q microtoroid cavity" Y.Xiao, S.K.Ozdemir, V.Gaddam, C. Dong, Nobuyuki Imoto, L.Yang, Optics Express 16 (2008) 21462-21475. 査読あり

[学会発表](計66件)

井元信之: "Managing multipartite entanglement" (invited), 5th Workshop on "Advances in Foundation of Quantum Mechanics and Quantum Information with atoms and photons" 23-29 May 2010 (Presented on 25 May 2010), INRIM, Turin, Italy.

井元信之: "Sending Quantum Information into the Past by Measurement" (invited), Naval Research Meeting "Entanglement Beyond the Optical Regime" 7-12 February 2010 (presented on 11 February), Doubletree Hotel, Orange, Anaheim CA.

井元信之: "Backaction control in quantum measurement and anomalous weak value in an interferometer" (invited), 6th Central European Quantum Information Processing Workshop, 2 June, 2009, Jindrichuv Hradec, Czech Republic.

井元信之: "A brief review on Quantum Information/Communication" (invited) Stockholm University Colloquium, 2009/4/27, Stockholm University.

井元信之: "Multiparty-entanglement quantum information processing (invited) UK-Japan Workshop on Quantum Information Workshop, 2009年1月22日, The New Hall, the British Embassy, Tokyo, Japan.

[図書](計3件)

「量子の新時代」(朝日新書) 著者:佐藤文隆、井元信之、尾関章, 出版社:朝日新聞出版, 出版年月:2009年7月。(p.97-181)