

補助事業番号 2025M-487

補助事業名 2025年度 量子光に作用する増幅器(量子光アンプ)の開発とそれを基幹技術とした量子通信事業への展開に関する 補助事業

補助事業者名 北野健太

1 研究の概要

量子光の増幅(アンプ)技術は、今後の量子インフラ事業の普及に欠く事のできない基幹技術である。しかし、その開発は以下の理由から困難を極める。一般的に信号強度を増幅するためには、外部からエネルギーを供給する必要があるが、量子光は外部との接触に伴って混入するノイズによって容易に劣化する。そのため、レーザーや光パラメトリックアンプと言った従来の光アンプ手法では、量子光に作用する光アンプは実現できていない。そこで、本補助事業では光アンプ手法としては極めて新しい「超蛍光※」と呼ばれる現象を利用する事で、この問題を打破し、量子光アンプを開発する。

※R. Dickeによって1954年に提唱された量子多体系による輻射過程。量子ノイズが増幅される事で高強度な光パルスが放射される。物質と光の両方がコヒーレンスを有する唯一無二の光アンプ過程である事からノイズを究極的に削減できると期待される。

2 研究の目的と背景

現代社会では量子性が顕著に現れる光、いわゆる「量子光」が各種産業界で用いられている。代表的な量子光は、量子通信、量子コンピュータ事業の量子ビットとして欠かせないエンタングル光子ペアである。他にも、米国の重力波検出施設(通称LIGO)では超高感度検出のためにスクイーズド光と呼ばれる量子光が用いられている。このように量子光は新産業創出の機運を見せてはいるが、現時点では爆発的な普及には至っていない。その最大の理由は量子光が極めて微弱であり、さらに増幅器が存在しないため、取扱いが極めて限定的となるためである。このような社会的要請から、本補助事業では量子光に作用する増幅器(アンプ)を開発し、学界ならびに産業界に貢献する事を研究目的とした。

3 研究内容

(1)二次元磁気光学トラップ装置の開発

超蛍光を量子光アンプとして利用するためには、超蛍光として放射される輻射場の量子状態を観測する事が必要となる。加熱したガラスセルを用いた実験では、超蛍光の光子数が天文学的な数となり、その量子性を観測できない。そこで、冷却原子を用いて、遅くフォノンフラックスが低い超蛍光を実現し、その量



図1 開発中の二次元磁気光学トラップ装置の外観

子光学的性質を解明する事が第一ステップとなる。そのために、ルビジウム原子を対象とした二次元磁気光学トラップ装置を開発している。開発中の装置の写真を図1に示す。本事業期間においては、レーザー装置の導入と光学経路の制作、ならびに真空装置の改良を実施した。

(2) 干渉縞励起手法の開発

超蛍光は、原子集団による発光現象であるが、その発光強度は原子間距離に依存する事が知られている。そのため、原子間距離を波長よりも十分に高い精度で制御する技術が欠かせない。従来の研究では、光ピンセット手法が適用されてきた。しかし、同手法では捕獲できる原子数が比較的少なく、その結果として光学濃度が小さくなるという欠点がある。そこで、この欠点を克服する事が可能な新規手法として、干渉縞励起手法を開発し、加熱したガラスセル中のルビジウム原子に対して原理実証実験を実施した。その概要は次の通りである。

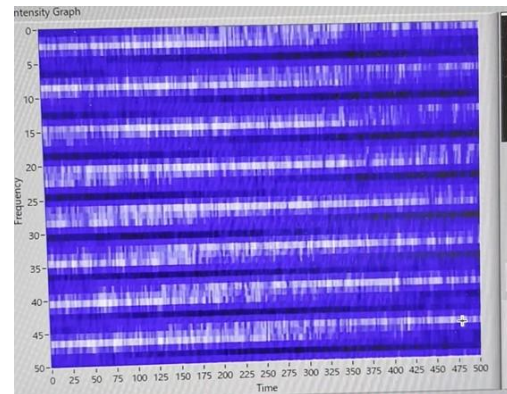


図2 干渉縞励起手法で使用された実測の干渉縞

二つに分けたフェムト秒レーザーを交差させて干渉縞を形成し、ガラスセル中のルビジウム原子に照射した。交差角度を精密に制御する事によって、超蛍光の輻射波長と干渉縞の周期構造が共鳴するように調整した。その結果、共鳴条件が満たされる時に、単一空間モードの超蛍光が放射される事を立証した。図2に実験で使用された干渉縞の典型的な実測画像を示す。今後は、冷却原子に対して干渉縞励起手法を適用する事を予定している。

4 本研究が実社会にどう活かされるか—展望

本補助事業期間中においては、超蛍光を精密に制御するための新しい手法として、干渉縞励起手法を開発した。干渉縞励起手法によって、超蛍光の伝搬モードをキャビティフリーで制御可能である。光の伝搬モードをキャビティフリーで操作する技術は、近年着目を浴びており、本手法は、光が関与する広大な研究領域へと適用される事が期待される。本事業に関しては、今後は冷却原子と干渉縞励起手法とを融合させる事によって、量子光アンプの開発へと展開していく事を予定している。さらに、量子気体顕微鏡、量子状態トモグラフィに代表される最先端の技術を融合し、独自の研究を展開する事によって新しい研究領域を切り開き、学术界、産業界へと貢献する事ができると期待される。

5 教歴・研究歴の流れにおける今回研究の位置づけ

本研究は、茨城大学において、2025年より着手した研究テーマである。今回の研究期間(2025.4～2026.3)において、数多くの基礎的かつ重要な知見を得ることができた。さらに、研

究の新しい展開を見出すことができた。

6 本研究にかかわる知財・発表論文等

H. Maeda and K. Kitano, Cavity-Free Mode Control of Superfluorescence from Thermal Gas, Phys. Rev. Lett. accepted.

7 補助事業に係る成果物

(1)補助事業により作成したもの

該当項目はございません。

(2)(1)以外で当事業において作成したもの

該当項目はございません。

8 事業内容についての問い合わせ先

所属機関名： 茨城大学工学部(イバラキダイガクコウガクブ)

住 所: 〒316-8511

茨城県日立市中成沢町4-12-1

担 当 者: 講師 北野健太(コウシ キタノケンタ)

担 当 部 署: 電気電子システム工学科(デンキデンシシステムコウガクカ)

E - m a i l: kenta.kitano.ve56@vc.ibaraki.ac.jp

U R L: <https://hikari.lab.ibaraki.ac.jp/>