

研究成果



平成 28 年 11 月 17 日

国立大学法人大阪大学
国立研究開発法人情報通信研究機構
東京大学大学院工学系研究科

分野:自然科学系

キーワード:単一光子周波数変換、冷却 Rb 原子量子メモリ、超伝導光子検出器

量子メモリへの書込・読出に光通信で成功!

-量子セキュリティ通信長距離化実現の中核テクノロジーとして期待-

【本研究成果のポイント】

- 量子メモリ^{注1}への書込・読出を光通信技術を利用して実現することに世界で初めて成功
- 量子状態を壊さない波長変換器の開発で、光ファイバーでの吸収が大きい可視光付近から通信波長への変換が可能に
- 今後、長距離量子セキュアネットワークの研究加速に期待

❖ 概要

大阪大学大学院基礎工学研究科 井元信之教授、NTT 物性科学基礎研究所 向井哲哉主任研究員、情報通信研究機構(NICT)未来 ICT 研究所 三木茂人主任研究員および東京大学大学院工学系研究科 小芦雅斗教授の研究グループは、量子情報処理に必要な量子メモリへの書込・読出を光通信技術を利用して実現することに世界で初めて成功しました。これは、量子セキュリティ通信の長距離化を実現する中核テクノロジーとして長年実現を期待されてきたものです。

本研究により、冷却 Rb 原子^{注2}による量子メモリと量子相関^{注3}をもった光子を光ファイバー通信によって送信し、離れた量子メモリの間に量子相関を実現し、それにより長距離量子情報通信を実現する新しい道筋となります。

本研究成果は、米国学術誌「Optica」のオンライン版に 10 月 31 日(月)に掲載されました。

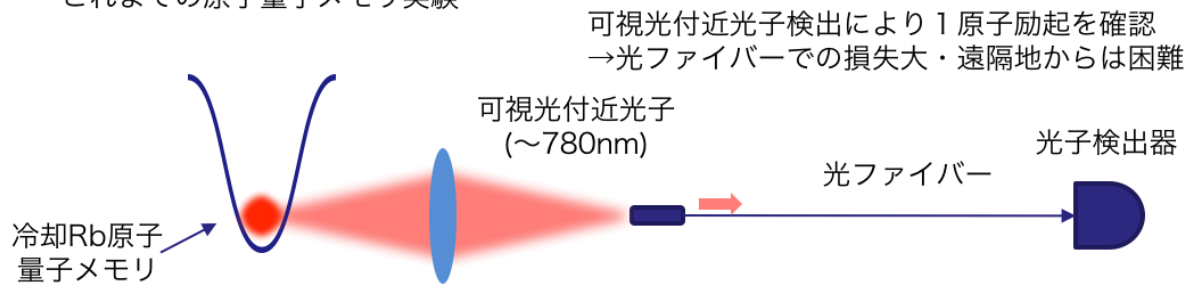
❖ 研究の背景

現在のコンピューターや通信技術において、メモリの果たす役割は大きく、ブラウザーのキャッシュのように効率的な通信には欠かすことができません。量子情報通信においても量子状態を蓄える量子メモリの役割は大きく、現在まで様々な物理系を利用して実験されてきました。

しかし、量子メモリの読み書きに使われる光は可視光付近(780nm)の短い波長のものであり、光ファイバー通信で用いられる近赤外(1.5 μ m帯)光とは大きく異なります。量子状態は光にのせて遠くに運ぶしか方法がなく、可視光付近の光はファイバー中を進むにつれて急速に失われ、長距離通信が不可能です。近赤外では約 15km まで半分の光子が残っているのに対して、可視光付近では 10km も進むと 1000 分の 1 の光子しか残りません。そのため、量子メモリは実現していても、その利用ができない状況でした(図 1)。

図 1

これまでの原子量子メモリ実験



❖ 今回の研究

研究グループは、量子状態を壊さない高性能な波長変換器^{注4}を非線形光学効果である和・差周波発生^{注5}を用いて開発するとともに、冷却 Rb 原子を利用した量子メモリを開発し、量子状態の書込・読出(モニタリング)に用いる可視光付近の波長 780nm の光子を、光ファイバーで用いられる近赤外光(1.52 μm)へ変換し、高性能な超伝導単一光子検出器(SSPD)^{注6}を用いて検出することで、冷却 Rb 原子中の 1 原子の励起を通信波長光子の検出により明確に確認することに成功しました(図 2)。

❖ 本研究成果が社会に与える影響(本研究成果の意義)

現在までに考えられている長距離量子情報通信システムのアーキテクチャーは、各中継地点に分散した量子メモリの量子状態を光通信を使って交換するものです(図 3)。本研究により、光ファイバー通信技術を利用して、この量子メモリ間通信を構築する新しいステージに進み、グローバルな量子セキュアネットワークへの研究の加速が期待できます。

❖ 特記事項

本研究成果は、米国学術誌「Optica」のオンライン版に 10 月 31 日(月)に掲載されました。

論文名:Heralded single excitation of atomic ensemble via solid-state-based telecom photon detection

誌名:Optica, DOI number: 10.1364/OPTICA.3.001279

著者:Rikizo IKUTA, Toshiki KOBAYASHI, Kenichiro MATSUKI, Shigehito MIKI, Taro YAMASHITA, Hiroataka TERAJ, Takashi YAMAMOTO, Masato KOASHI, Tetsuya MUKAI, Nobuyuki IMOTO

また、本研究は科学研究費補助金および大阪大学大学院基礎工学研究科附属未来研究推進センターの支援により行われました。

❖ 用語解説

注 1)量子メモリ

現在の情報通信では「0」と「1」の 2 文字(ビットといいます)で計算や通信を行っていますが、量子情報通信は「0」と「1」の重ね合わせ状態も使います(量子ビットといいます)。現在のコンピューターで使われているメモリでは、ビットは記憶できますが量子ビットを記憶できません。量子ビットを記憶する装置を量子メモリと呼びます。本研究では冷却 Rb 原子(注 2 参照)を用いています。

注 2)冷却 Rb 原子

レーザー冷却等の技術を用いて極低温まで冷却され、捕捉されたルビジウム(Rb)原子気体。極低温まで冷やすことで、量子力学的な性質を積極的に活用することが可能です。量子情報処理では、量子メモリとしての活躍が期待されています。

注 3)量子相関

複数の量子ビット間の量子力学的な相関で、エンタングルメント(entanglement)の和訳。例えば、量子相関をもつ 2 つの光

子の場合、片方の状態が決まると、もう一方の状態もそれに依って決まり、その関係は光子間の距離に依存しないといった特異な性質があります。量子情報処理において、情報伝達、高速(効率)演算、セキュリティなど、ほぼすべての応用においてリソースとしての重要な役割を果たしています。

注 4) 波長変換器

和・差周波発生といった非線形光学効果(注 5 参照)を利用した波長(周波数)変換器。量子状態を壊さない高性能な単一光子波長変換のためには、わずか光子 1 個分の雑音さえ許さないクリーンな波長変換技術が求められます。

注 5) 和・差周波発生

非線形光学効果を利用した波長(周波数)変換技術。非線形光学結晶に ω_p の周波数を持つ十分強い励起光が入力されているときに、励起光よりも高い周波数 ω_s を持つ信号光を入力すると、エネルギー保存則によって、信号光と励起光の周波数の差と等しい $\omega_c (= \omega_s - \omega_p)$ の周波数を持つ光が発生します(差周波発生)。逆に、 ω_c の周波数を持つ信号光を入力すると、信号光と励起光の周波数の和と等しい ω_s の周波数を持つ光が発生します(和周波発生)。

注 6) 超伝導単一光子検出器(SSPD)

超伝導現象を利用した単一光子検出器。本研究で用いた超伝導単一光子検出器は、受光面に対して超伝導細線を敷き詰めた構造をしています。超伝導状態が壊れやすいように電流バイアスが加えられた細線に光子が吸収されると、光子のエネルギーによって超伝導状態が壊れ、光子検出が可能となります。

❖ 参考図

図 2

今回の原子量子メモリ実験

通信波長光子検出により 1 原子励起を確認
→ 光ファイバーでの極小損失・遠隔地からも可能に

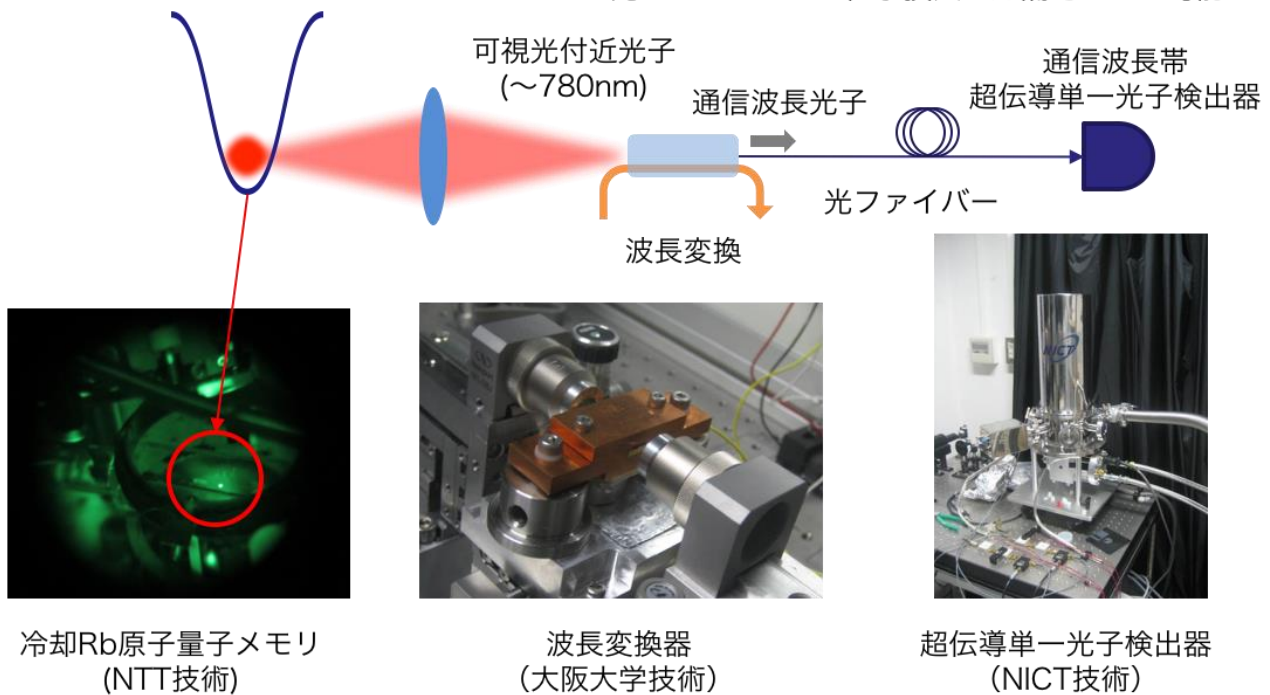
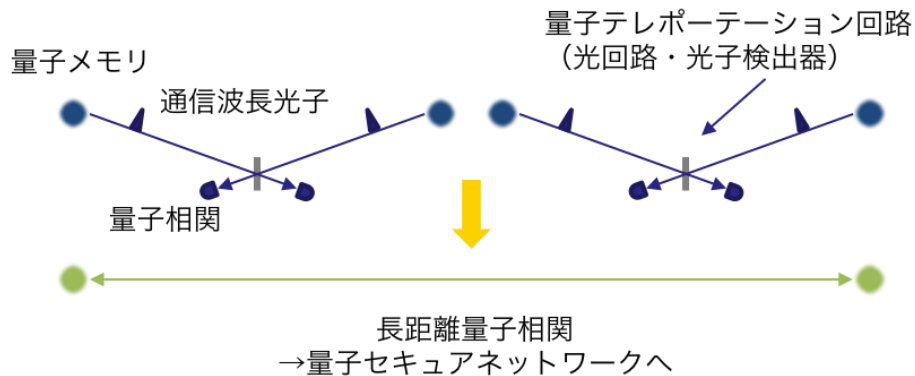


図 3



❖ 本件に関する問い合わせ先

<研究に関すること>

大阪大学大学院基礎工学研究科 物質創成専攻 物性物理工学領域
教授 井元 信之 (いもと のぶゆき)
〒560-8531 大阪府豊中市待兼山町 1-3

情報通信研究機構 未来 ICT 研究所 フロンティア創造総合研究室
主任研究員 三木 茂人 (みき しげひと)
〒651-2492 兵庫県神戸市西区岩岡町岩岡 588-2

東京大学大学院工学系研究科 光量子科学研究センター
教授 小芦 雅斗 (こあし まさと)
〒113-8656 東京都文京区弥生 2-11-16

<報道に関すること>

大阪大学基礎工学研究科 庶務係
情報通信研究機構 広報部 報道室
東京大学 工学部・大学院工学系研究科広報室