

# 高出力紫外光源の開発とイッテルビウム原子のリドベルグ励起の観測

## [1] 要旨

中性冷却原子を用いた量子コンピュータでは、原子間の相互作用を利用した2量子ビットゲートの実装に、リドベルグ状態と呼ばれる原子の高エネルギー状態が用いられる。高忠実度な演算を達成するためには、リドベルグ状態への励起に必要な高出力で低ノイズの紫外光源が不可欠である。イッテルビウム原子をリドベルグ状態に励起する波長 325 nm の高出力光源の開発が行われ、リドベルグ状態へのコヒーレント励起が報告された。この成果は、2量子ビットゲートの実現に向けた重要な第一歩となる。

## [2] 本文

近年、光ピンセット配列にトラップされた中性冷却原子を用いた量子コンピュータが急速に発展している。この系では、量子計算に必要な不可欠な2量子ビットゲートの実装に、原子の高エネルギー状態であるリドベルグ状態を利用する。この状態への高忠実度な励起は、ゲート演算の高忠実度化において必須である。従来、多くの研究で使用されてきたアルカリ原子系では、基底状態からの2光子励起を用いてリドベルグ状態へ励起していたが、中間状態の散乱によるデコヒーレンスなどが忠実度低下の原因となっていた。一方、近年ではストロンチウム原子やイッテルビウム原子の準安定励起状態からの1光子リドベルグ励起により、上述の課題を解決した高忠実度な2量子ビットゲートが実現されている。さらに忠実度を向上させるためには、ハイパワー光源による高速なリドベルグ励起が必要であるが、1光子励起に必要な紫外光の高出力化は技術的な困難を伴う。

最近、京都大学理学研究科の研究グループは、2段階の第二次高調波発生を用いた高出力な 325 nm 光源の開発に成功した。この光源はイッテルビウム原子の準安定励起状態  $^3P_2$  からリドベルグ状態への励起光源となる。2量子ビットゲートの実装に向けた第一歩として、開発した光源を用いてリドベルグ状態へのコヒーレント励起の観測に成功した。この成果は JPSJ の 2025 年 1 月号に掲載された。

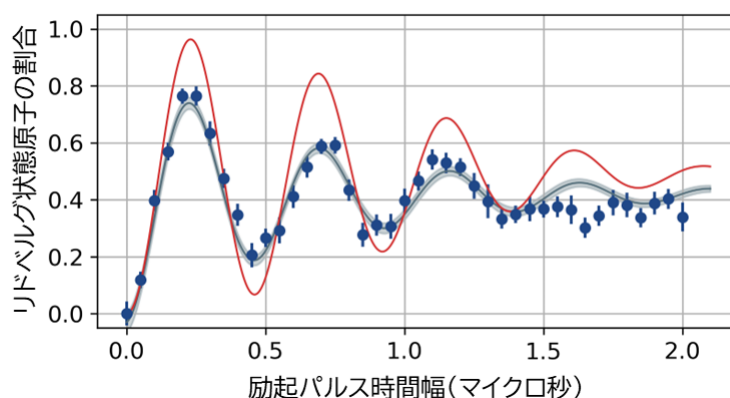
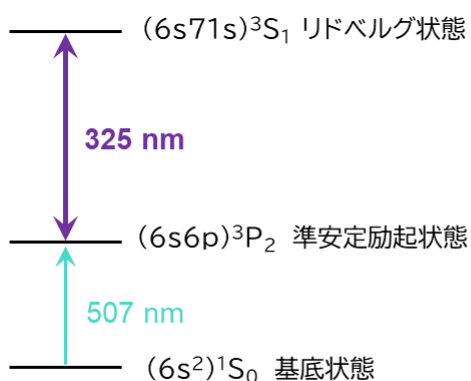


図 1 : (左) 本研究で用いたイッテルビウム (Yb) 原子のエネルギー準位図。準安定励起状態からリドベルグ状態への励起に 325 nm 光が必要となる。(右) 開発した 325 nm 光源を用いたリドベルグ状態へのコヒーレント励起。ラビ周波数 (振動の周期) が 2.13(3) MHz の高速な励起を観測した。

本研究で開発された 325 nm 光は、1300 nm の種光をラマンファイバーアンプで増幅したのち、2 段階の第二次高調波発生によって生成されている。出力は最大 800 mW を超え、10 MHz オーダーの高速なリドベルグ励起を可能とするものとなっている。さらに、励起の忠実度に大きな影響を与えるレーザーの位相ノイズを低減するために、高い反射率を持つミラーからなる共振器を用いた種光のフィルタリングを行っている。この効果を、自己遅延ヘテロダイン法によって定量的に評価し、MHz 帯の位相ノイズを 20 dB 程度削減できていることを明らかにした。さらに、開発した光源を用いて、 $^{174}\text{Yb}$  原子の  $^3\text{P}_2$  状態からリドベルグ状態への分光および、ラビ周波数 2.13(3) MHz の高速なコヒーレント励起に成功した。(図 1)

本研究成果は、中性冷却原子型量子コンピュータ開発において特に注目を集めているイッテルビウム原子のリドベルグ励起の高速化に貢献するものである。また、本研究で定量的に示されたレーザー位相ノイズの抑制と合わせて、高忠実度な 2 量子ビットゲートの実装へとつながる成果であり、今後の研究の展開が期待される。

#### 原論文 (2024 年 12 月 20 日公開済)

Development of a High-power Ultraviolet Laser System and Observation of Fast Coherent Rydberg Excitation of Ytterbium

Y. Nakamura, N. Ozawa, T. Kusano, R. Yokoyama, K. Shibata, T. Takano, Y. Takasu, and Y. Takahashi  
J. Phys. Soc. Jpn. **94**, 014301 (2025).

< 情報提供 : 中村勇真 (京都大学理学研究科) >