

## 冷却 Rb 原子の超高速コヒーレント制御

(分子科学研究所<sup>1</sup>, JST-CREST<sup>2</sup>, 岩手大学<sup>3</sup>, 総合研究大学院大学<sup>4</sup>)○武井宣幸<sup>1,2</sup>, Giorgi Veshapidze<sup>1</sup>, 千葉寿<sup>1,2,3</sup>, 大森賢治<sup>1,2,4</sup>

近年、極低温までレーザー冷却された原子気体に対する研究が盛んに行われるようになった。もし分子集団の冷却が達成された場合には、基礎物理定数の超精密測定に基づく物理法則の検証、量子コンピュータのスケーリング、化学反応の制御など様々な分野において、より革新的な発展が期待される。よって、極低温まで冷却された高密度な分子気体を実現することは、物理分野と化学分野の両方において大きな展望を開くと考えられる。極低温分子を生成するには大きく分けて、次の2つの方法がある。1つは、既存の安定分子について、その並進運動を冷却するものであり、1mK程度まで冷却したという報告がなされている。 $\mu\text{K}$ あるいはnKまで冷却した分子を形成するには、もう1つの方法である冷却原子を磁場あるいは光トラップ中で会合する手段が有効である。その実現のために、光会合あるいはフェッシュバッハ共鳴を利用した会合が精力的に研究されてきた。

一方、我々の研究室ではこれまでに、気相孤立分子の電子振動波束にアト秒精度で制御されたレーザー電場の位相情報を完全に転写するという方法を用いて、分子内の波束干渉の時空間模様をピコメートルレベルの空間分解能とフェムト秒レベルの時間分解能で加工し可視化する技術を確立してきた[1-6]。我々が培ったこの超高速コヒーレント制御を、レーザー冷却技術によって $100\mu\text{K}$ 程度の極低温まで冷却されたルビジウム(Rb)原子に対して適用し、量子状態の新たな制御技法を探求したいと考えている。つまり、これまで別々に発展してきた極低温物理と超高速化学を融合させた新たな量子状態制御を模索している。

我々は現在、2つの冷却Rb原子から連続波レーザーあるいは超短パルスレーザーを用いた光会合によって $\text{Rb}_2$ 分子を生成し、その並進・振動・回転運動の制御、および各状態間のコヒーレントな重ね合わせ(波束)の生成・制御の実験を行っている。光会合とは、基底状態にある2つの原子が衝突する際に、基底状態から励起状態の分子振動準位へと共鳴する光を照射することで、励起状態にある分子を励起・生成する現象である。このようにして生成された分子は、光子を放出して2つの原子に戻るか、あるいは分子の基底状態へと減衰する。我々は、この光会合とそれに伴う減衰過程を超高速コヒーレント技術で制御することを試みている。本講演では、これらの実験の詳細および今後の展望について報告する。

第1段階として、連続波レーザーによる光会合実験を行った。その実験概略を図1に示す。まず、実験対象である $85\text{Rb}$ 原子を磁気光学トラップ(MOT)により捕獲する。反ヘルムホルツコイルを用いて四重極磁場を発生させ、対向する6本のビーム(図では省略)により、その中心にRb原子集団を補足する。Time of Flight法により、その温度は $100\mu\text{K}$ 程度、大きさは約1mmと見積もることができる。光会合実験は次のように進める。まず、MOT用のトラップビームを遮断する。その後、数十 $\mu\text{sec}$ の時間をあけて、光会合ビームを照射する。

励起状態の寿命は、26nsec であるから、この数十  $\mu$  sec の間に全ての原子は電子基底状態へと減衰すると考えられる。光会合ビームの波長を D2 線 (780nm) 付近で掃引する。光会合ビームには半導体レーザー (ECDL) の出力 10mW を用いる。ピエゾ素子と電流の制御により、モードホップなしに周波数を 15GHz 程度掃引できる。この出力を AOM で  $1\mu$  sec のパルス状に切り出している。光会合ビームを照射している間に、数  $\mu$  J のナノ秒パルスレーザー (時間幅 40nsec) を、光会合ビームが照射されている領域を狙って照射する。これにより、生成された分子集団 (あるいは原子集団) をイオン化し、チャンネルトロンでその分子イオンを検出する。原子・分子集団の温度分布 (速度分布) は約  $100\mu$  K と非常に低いため、イオン化された原子・分子がチャンネルトロンに到達するまでに、その集団の大きさはほとんど変わらない。ゆえに高効率でイオンを捕捉できる。また、イオン化レーザーの波長を変えることで、多光子イオン化過程の経路を選択・比較することができ、分子振動準位を指定することができる。このようにして検出された分子状態について、その詳細を報告する予定である。

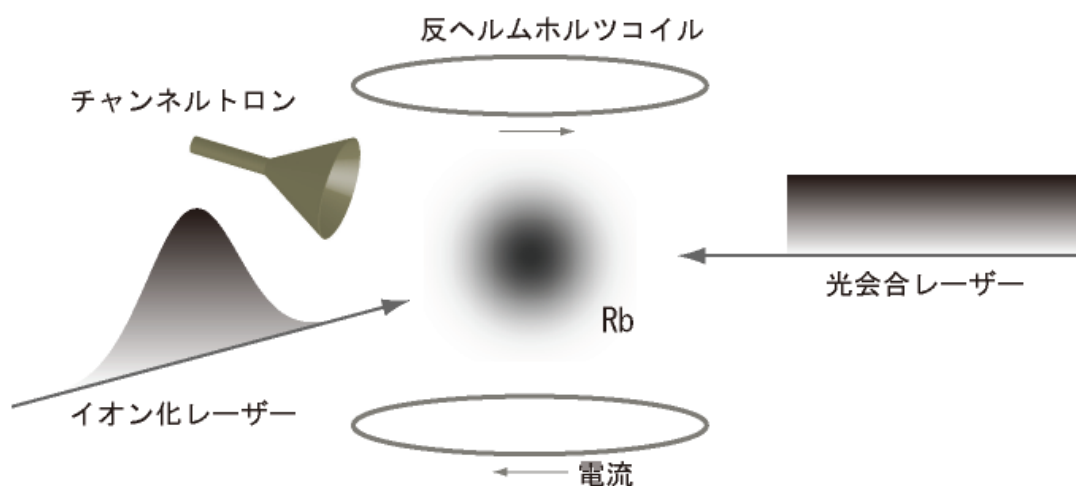


図 1: 実験概略

- [1] K. Ohmori, *Ann. Rev. Phys. Chem.* 59, 319 (2008).
- [2] H. Katsuki, H. Chiba, C. Meier, B. Girard, and K. Ohmori, *Phys. Rev. Lett.* 102, 103602 (2009).
- [3] H. Katsuki, K. Hosaka, H. Chiba, and K. Ohmori, *Phys. Rev. A* 76, 013403 (2007).
- [4] H. Katsuki, H. Chiba, B. Girard, C. Meier, and K. Ohmori, *Science* 311, 1589 (2006).
- [5] K. Ohmori *et al*, *Phys. Rev. Lett.* 96, 093002 (2006).
- [6] K. Ohmori, Y. Sato, E. E. Nikitin, and S. A. Rice, *Phys. Rev. Lett.* 91, 243003 (2003).