

**科学研究費助成事業 研究成果報告書**

平成 29 年 5 月 9 日現在

機関番号：32601

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2015～2016

課題番号：15K17806

研究課題名（和文）高強度テラヘルツパルス磁場による気相原子の電子スピンに関する超高速制御

研究課題名（英文）Coherent control in atomic fine structure states by intense THz pulses

研究代表者

北野 健太 (Kitano, Kenta)

青山学院大学・理工学部・助教

研究者番号：90586900

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,200,000円

研究成果の概要（和文）：テラヘルツパルスをプラズマ中に伝搬させることによって、時間波形の変化から、電子密度や温度を測定できることが知られている。本研究では、同手法を分光技術と組み合わせることによって、二色の色素レーザーによる多光子イオン化によって生成した電子の密度をテラヘルツパルスによって測定することに成功した。また、色素レーザーの波長を掃引することによって、ルビジウム原子のリドベルグ状態の分光に成功した。

研究成果の概要（英文）：THz time-domain spectroscopy has been widely applied to measure free electron density and collision rates of various types of plasma. We have applied the method to a laser induced plasma in a gas cell. A two color dye laser was introduced into the gas cell filled with Rb atoms, and the Rb atoms were ionized through multi-photon ionization process. After the excitation by the laser pulses, a THz pulse is coaxially introduced into the gas cell, and the electron density was successfully measured. By scanning the excitation wavelength of the laser pulse, we have also succeeded in the spectroscopy of Rydberg states of Rb atoms.

研究分野：超高速分光

キーワード：テラヘルツ プラズマ

### 1. 研究開始当初の背景

固体中のスピン波を精度良く制御することは、スピントロニクスで用いるためのデバイス開発という観点で極めて重要な課題であり、精力的に研究がなされてきた。一方、孤立系のスピンドYNAMICS、いわゆるスピントリッップに関する研究例は少ない。孤立系の原子をターゲットとして、スピントリッップ機構を解明することは、固体中の複雑なスピン波を解析するために必要な相補的、基礎的な知見を得られると期待され、かつ、量子メモリや量子情報へ有望な系として期待されている。スピン波を制御する方法としては、従来、レーザーパルスが用いられ大きな成功を収めてきた。しかしながら、光子エネルギーがスピン波のエネルギー準位構造に比べて遙かに大きいため、余計な電子遷移を誘発させるという問題点がある。その打開策として、高強度テラヘルツパルスの磁場成分を用いることで、スピン波を共鳴励起できることが着目されている。

### 2. 研究の目的

上記の研究背景のもと、高強度テラヘルツパルスの磁場成分による励起を用いることによって、孤立系の原子のスピントリッップ機構を解明し、それらを超高速で制御することを目的とした。

### 3. 研究の方法

本研究では、気相中のナトリウムまたはマグネシウム原子を対象とし、電子励起状態でスピン軌道相互作用により分裂した量子状態を用いてコヒーレント制御および分光を行う。そこで、分裂した量子状態のうちの最低エネルギー状態と電子基底状態間の遷移周波数に共鳴した、エネルギー分解能の高い色素レーザーを照射し、高純度で電子励起させる。次に、パルス面傾斜法により生成させた高強度テラヘルツパルスをターゲットに照射し、磁気双極子遷移によりスピントリッップを実現させる。観測手段は、二つの異なる、いずれも高感度な手法を用いる。一つ目は、

スピントリッップに伴い分布した電子励起状態（初期状態の分布はゼロ）の分布量を色素レーザーを用いた多光子共鳴イオン化過程によってイオン化させ、イオンを検出する。二つ目は、スピントリッップにより生成したコヒーレンスに伴う自己誘導透過を観測する。一つ目の手法は真空装置を、二つ目の手法はガスセルを用いる。

### 4. 研究成果

フェムト秒パルスを光源としたパルス面傾斜法によるテラヘルツパルス光源の開発を完了し、ピーク電場で  $30\text{kV/cm}$  と評価された。ルビジウムを封入したガスセルを加熱させ、内部の原子密度を吸収分光法によって実験的に見積もり、計算結果と良い一致を得た。具体的には、ルビジウムセルに、中心波長  $780\text{nm}$  の色素レーザーを照射し、 $5s-5p_{3/2}$  の共鳴遷移を励起させ、透過光強度をモニターした。また、 $780\text{nm}$  と  $480\text{nm}$  の色素レーザーを同時に照射することによって、リドベルグ原子を生成させ、リドベルグ原子密度を蛍光強度のディップから実験的に  $10\%$ 程度と評価した。これらの結果から、セル内でリドベルグ原子にテラヘルツパルスを照射し、自己誘導透過による時間波形をモニターする実験装置の制作が完了した。一方、当初予定していた真空装置を用いた実験に関しては、本研究期間中では着手に至らなかった。ルビジウム原子を用いた場合、 $350\text{nm}$  の色素レーザーを用いて  $5s-7,8,9p$  に励起させることによって、エネルギー準位構造が、それぞれ  $0.7, 0.5, 0.3\text{THz}$  であり、テラヘルツパルスの磁場成分による共鳴励起が可能である。しかしながら、磁場成分による励起は電場成分による励起と比較し  $1$ 桁程度効率が小さく、テラヘルツパルスの自己誘導透過の手法を用いた場合、観測されるシグナルが我々の実験装置におけるノイズと比較して小さいことが予測される。そこで、これに先立つ実験として、より大きなシグナルが期待できる、

テラヘルツパルスによるプラズマ診断の実験を実施した。テラヘルツパルスがプラズマ中を伝搬すると、テラヘルツ電場とプラズマ中の自由電子とが相互作用し、自己誘導透過の波形が変化することが知られており、その変化から、プラズマ中の電子密度や衝突時間を求めることができる。図1に実験結果を示す。我々の実験では、色素レーザーによる共鳴多光子イオン化によってプラズマを生成させた。セル中での色素レーザーとテラヘルツパルスのビーム径は1mm程度であり、色素レーザーの光軸を1mm以下の範囲で制御することによって、テラヘルツパルスの透過波形が大きく変化していることが分かる。この結果から、色素レーザーパルス中でおきるイオン化確率に関して実験的に評価した。また、図2には、5p-nd(ns)への遷移に用いられている色素レーザーの波長を掃引しながら、ある時刻におけるテラヘルツパルスの電場強度をモニターした結果を示す。色素レーザーの波長がリドベルグ準位に共鳴することによって、イオン化が誘起され、テラヘルツパルスの信号が変化しており、本手法が新たな分光手法として有用であることが分かる。

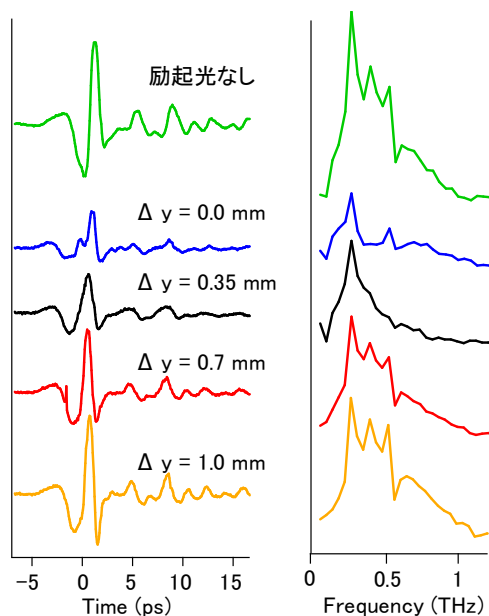


図1 ガスセル透過後のテラヘルツパルスの時間波形(左)とスペクトル(右)。図中の $\Delta y$ はテラヘルツパルスと色素レーザーとの光軸の相対的な変位量。

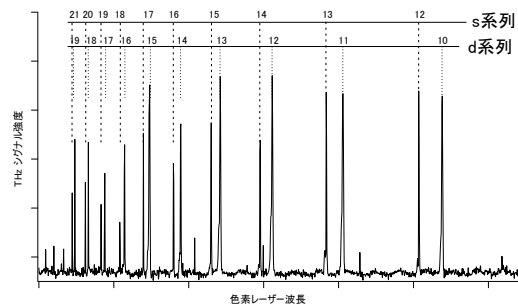


図2 リドベルグ準位への励起用色素レーザーの波長掃引に対して観測されたテラヘルツパルスの電場強度。ただし、モニターするテラヘルツパルスの時刻は固定。

## 5. 主な発表論文等

(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 0 件)

[学会発表] (計 1 件)

北野 健太、前田 はるか、高密度リドベルグ原子中におけるテラヘルツパルスの伝搬、物理学会秋季大会、2016.9.15、金沢大学(石川県)

[図書] (計 0 件)

[産業財産権]

○出願状況 (計 0 件)

名称：  
発明者：  
権利者：  
種類：  
番号：  
出願年月日：  
国内外の別：

○取得状況 (計 0 件)

名称：  
発明者：  
権利者：  
種類：  
番号：  
取得年月日：  
国内外の別：

[その他]  
ホームページ等

## 6. 研究組織

(1) 研究代表者

北野 健太 (KITANO kenta)

青山学院大学・理工学部・物理数理学科

研究者番号：90586900

(2) 研究分担者 ( )

研究者番号 :

(3) 連携研究者 ( )

研究者番号 :

(4) 研究協力者 ( )