

## 自己評価報告書

平成 23 年 5 月 12 日現在

機関番号：14301

研究種目：基盤研究(A)

研究期間：2008～2011

課題番号：20244025

研究課題名(和文) 超短パルスレーザーを用いた超高速核スピン偏極の実現

研究課題名(英文) Realizing ultrafast nuclear-spin polarization by short laser pulses

研究代表者

中嶋 隆 (NAKAJIMA TAKASHI)

京都大学・エネルギー理工学研究所・准教授

研究者番号：50281639

研究分野：量子エレクトロニクス

科研費の分科・細目：物理学 [素粒子・原子核・宇宙線・宇宙物理]

キーワード：核スピン、偏極、超短パルスレーザー

## 1. 研究計画の概要

(1) 理論研究については、応募時に提案した核スピン偏極スキームの妥当性を理論的に評価する。特に、核スピン偏極値の大きな同位体について、提案した偏極スキームがうまく働くかどうかを理論的に検証する。また、さらに効率のよい新たな偏極スキームがあるかどうかを検討する。

(2) 実験研究についてはまず、天然に安定した様々な同位体を持つ熱的 Yb 原子ビームについて、2 台のナノ秒色素レーザーで励起・イオン化し、狭帯域化した波長可変ナノ秒色素レーザー誘起蛍光強度から生成した光イオンの核スピン偏極度を光学的に評価する手法を確立する。

## 2. 研究の進捗状況

(1) 理論研究については、我々が当該研究課題応募時に提案した超高速核スピン偏極スキームが、核スピン値の大きな同位体についても適用できるかどうかを検討した。計算手法としては、核スピンの向きがあらわになる非結合基底を用いて励起状態の波動関数をコヒーレントな重ね合わせで記述し、核スピンの向きが時間の関数としてどのように変化するかを調べた。Mg および Ca 原子について核スピン I が  $I=1/2, 3/2, 5/2, 7/2$  である様々な同位体を調べたところ、励起パルスを照射した後、数ナノ秒～数 10 ナノ秒程度の時間にそれぞれ 89, 76, 49, 36% の偏極度に到達することがわかった。つまり、我々が課題応募時に提案した超高速核スピン偏極法は核スピン値が大きな核種でも適用可能であることが理論的に示せた。さらには、より効率の良い偏極スキームがないかについても検討したところ、超短レーザーパルス列を

使うことによって一層効率が良く、かつ、ほぼ全ての核種に適用可能な偏極スキームも提案することができた。

(2) 実験研究については、狭帯域連続発振チタンサファイアレーザーをシードとしてエキシマレーザー励起色素レーザーでパルス増幅を行うことにより、核スピン偏極度のモニタに必要なナノ秒色素レーザーの狭帯域化には成功したが、波長スキャンシステムがうまく動作しなかった。この原因について、様々な調査を行ったところ、使用したチタンサファイアレーザーシステムの老朽化によるものであることが判明した。取り替え用部品はもうメーカーから供給されていないため、今後は代替システムとしてダイオードレーザーを導入し、これをシード光として核スピン偏極検出用波長可変ナノ秒色素レーザーの狭帯域化を進めることとした。

## 3. 現在までの達成度

② おおむね順調に推移している

(理由)

理論研究は順調に進み、当初提案した偏極スキームが核スピン値の大きな同位体についても適用できることを示せたのは大きな成果であると考えます。また、研究課題応募時には全く考えていなかった、より一層効率の良い偏極スキームも提案することができた。

実験研究については、核スピン偏極度のモニタに必要なナノ秒色素レーザーの狭帯域化には成功したものの、波長スキャンがうまくできなかったため、核スピン偏極度を実測することができなかった。これらを総合し、研究はおおむね順調に推移したと判断する。

#### 4. 今後の研究の推進方策

理論研究については、当初考えていたよりももっと効率が良く、かつ、汎用性も高い偏極スキームを考案できたので、一区切りついたと考える。今後は実験実証に大きなウエイトを置いて研究を進め、理論で予測できない偏極度しか得られなかった場合について、理論検証を行うこととする。

実験研究については、これまでの研究で明らかになった問題点を解消する。すなわち、老朽化した連続発振チタンサファイアレーザーをダイオードレーザーに置き換えて色素レーザーの狭帯域化を試みる。

#### 5. 代表的な研究成果

(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 17 件)

- ① T. Nakajima, “A scheme to polarize nuclear-spin polarization by a sequence of short laser pulses: application to the muonium”, *Optics Express* \*, \*\*\*.\*\*\* (2010). 査読有
- ② G. Buica and T. Nakajima, “Multiphoton ionization of the calcium atom by linearly and circularly polarized laser fields”, *Phys Rev. A* **81**, 043418 (2010). 査読有
- ③ T. Nakajima, “Ultrafast nuclear spin polarization for isotopes with large nuclear spin”, *J. Opt. Soc. Am B* **26**, 572-580 (2009). 査読有
- ④ H. Tang and T. Nakajima, “Effects of the pulse area and pulse number on the population dynamics of atoms interacting with a train of ultrashort pulses”, *Opt. Commun.* **281**, 4671 (2008). 査読有

[学会発表] (計 18 件)

- ① 中嶋隆, 「超短レーザーパルス列によるスピン偏極: ミュオニウムへの応用」, 神奈川工科大学, 2011年3月24-27日, 春期第58回応用物理学関係連合講演会, 25p-KG-12.
- ② T. Nakajima, Y. Matsuo, and T. Kobayashi, “Polarizing nuclear-spin by a sequence of short laser pulses: application to polarize muonium and ytterbium”, *The 19th International Spin Physics Symposium (SPIN2010)*, Sep. 27-Oct.2, 2010 (Jülich, Germany).
- ③ 中嶋隆, 「超高速イオン化によるイオン状態コヒーレンスの生成」, 東海大学, 2010

年3月17-20日, 春期第57回応用物理学関係連合講演会, 20aF-2.

- ④ T. Nakajima, Y. Matsuo, and T. Kobayashi, “Change of ultrafast nuclear-spin polarization upon photoionization by short laser pulses”, *13th International Workshop on Polarized Sources, Targets & Polarimetry (PSTP09)*, (Ferrara, Italy, Sep. 7-11, 2009).

[図書] (計 0 件)

[産業財産権]

○出願状況 (計 0 件)

○取得状況 (計 0 件)

[その他]

特になし