

平成23年5月30日現在

機関番号：82118

研究種目：基盤研究（B）

研究期間：2008～2010

課題番号：20340062

研究課題名（和文）固体重水素薄膜中のサマリウムミュオン原子X線のアイソトープシフト測定

研究課題名（英文）Isotope Shift Measurements of Samarium Muonic Atom X-rays in Thin Solid Deuterium Films

研究代表者

Patrick Strasser (STRASSER, Patrick)

大学共同利用機関法人高エネルギー加速器研究機構・物質構造科学研究所・研究機関講師

研究者番号：20342834

研究成果の概要（和文）：ミュオン移行反応により固体水素薄膜へ注入されたサマリウム同位体のミュオン原子を生成し、その同位体シフトや遷移速度に関する研究を提案した。ミュオン原子X線の同位体シフトは原子核の電荷分布を反映しており、原子核の形状が同位体間で大きく変化するサマリウム核種での同位体シフトの観測は、固体水素薄膜を用いたミュオン原子生成法の適用元素の拡大及び将来的な不安定核種への展開に向け重要な試金石となる。理研 RAL ミュオン施設で実験が進められ、わずか数 ppm の安定同位体サマリウム ^{148}Sm と ^{152}Sm が固体重水素薄膜に注入された実験において、ミュオン移行反応で生成したミュオンサマリウム原子の $2p \rightarrow 1s$ 遷移 X 線(約 4.5MeV)が観測されると共に、球形核 ^{148}Sm と変形核 ^{152}Sm 間の同位体シフトも観測されるという非常に有望な結果が得られた。

研究成果の概要（英文）：In this research, we proposed to implant stable samarium isotopes in thin solid hydrogen films to form muonic atoms through the direct muon transfer reaction, and then conduct muonic X-ray spectroscopy with those implanted ions to determine isotope shifts and transfer rates. The isotope shift of muonic atom X-rays measures the nuclear charge distribution of the nucleus, and samarium isotopes are of particular interest because they show very abrupt changes in their nuclear characteristics. This development is crucial in order to expand the solid hydrogen film method to produce muonic atoms with unstable nuclei in the future. Very promising results were obtained at the RIKEN-RAL muon facility with stable samarium isotopes ^{148}Sm and ^{152}Sm of about 1 ppm implanted into a thin solid deuterium film. Clear X-rays peaks from the $2p \rightarrow 1s$ muonic transitions in samarium (about 4.5MeV) were observed, and the isotope shift was consistent with that ^{148}Sm still has a spherical nucleus, while the nucleus of ^{152}Sm is highly deformed.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2008年度	8,500,000	2,550,000	1,105,000
2009年度	4,600,000	1,380,000	5,890,000
2010年度	1,800,000	540,000	1,930,000
年度			
年度			
総計	14,900,000	4,470,000	19,370,000

研究分野：数物系科学

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：ミュオン、固体水素、イオン源、ミュオンX線、イオン注入、希土類元素、サマリウム

1. 研究の背景

ミュオン原子 X 線分光法は、原子核の電荷分布及びその変形特性を測定するのに有効な方法であるが、ここ 40 年に亘り、その研究対象は、主に安定な原子核に限られてきた。しかしながら、安定領域からより離れた原子核の研究が進展する現状において、不安定核の電荷分布などの情報は非常に重要であり、ミュオン原子 X 線分光法による研究は、不安定核の核構造に関する知見を一層高めるユニークなツールになると思われ、さらにまた、その結果は、電子散乱やレーザー分光法のような他の実験から得られる結果と相補的なものとなる。

2. 研究の目的

ミュオン原子 X 線の同位体シフトは、原子核の電荷分布を反映している。このため、核の電荷分布研究の観点から、大きな核変形特性などを持つ安定な希土類核に対する同位体シフトの測定は、不安定核へ展開するための基礎研究の候補として理想的である。そして、本課題におけるこれらの同位体シフトの観測は、固体水素薄膜を用いたミュオン原子生成法の適用元素の拡大及び将来的な不安定核種への展開に向け、重要な試金石となると考えている。

本課題では、核の形状が同位体間で大きく変化するサマリウム核種に着目し、サマリウム同位体イオンを固体水素薄膜中に注入することにより、効率良くミュオン原子を生成し、ミュオン原子 X 線分光により、これらの同位体シフト及びミュオンの遷移速度を決定することを目的とした。また、ミュオン原子 X 線の計測系に関しても、サマリウムのミュオン原子 X 線のエネルギーが約 4.5MeV と非常に高く、ガンマ線放出を伴う放射性同位元素へ適応を視野に入れた場合、ミュオン原子 X 線とガンマ線をより効率的に測定するためのアップグレードが必要とされた。

3. 研究の方法

ミュオン移行反応により、固体水素薄膜へ注入されたサマリウム同位体のミュオン原子を生成し、その同位体シフトや遷移速度に関する測定が行われた。理研 RAL ミュオン施設の第 4 実験ポート (図 1) で実験が進められた。このポートには、既に完成された高性能表面電離型イオン源が設置され、アルカリ、アルカリ土類や希土類元素をイオン化することができる。実験では、 Sm_2O_3 粉末がイオン源にセットされ、引出された Sm イオンを質量分離 ($A=148$ または $A=152$) した後、固体重水素薄膜へ注入した。このように作製された試料は低温を保持しながら、ミュオンが照射され、生成されたミュオン原子からの

X 線がゲルマニウム半導体検出器などで測定された。

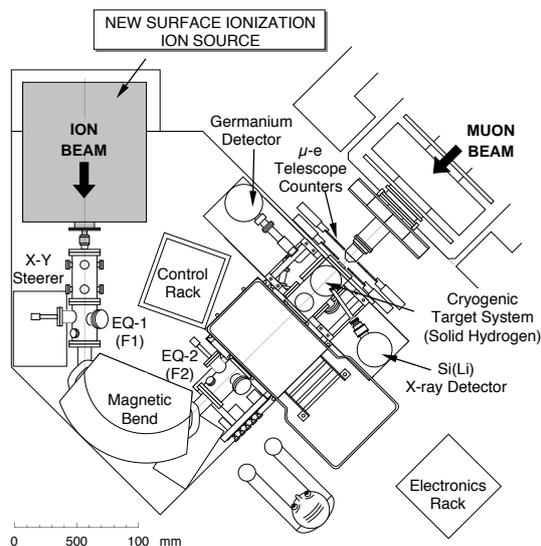


図 1: Layout of the experimental setup at the RIKEN-RAL Muon Facility Port 4 showing the new surface ion source used to produce muonic atoms with alkaline-earth metals and rare-earth elements.

4. 研究成果

サマリウムのミュオン原子 X 線のエネルギーは約 4.5MeV と非常に高く、より効率的にミュオン原子を観測するため、既存の X 線とガンマ線検出システムの性能向上を図り、新たにゲルマニウム半導体検出器 (ORTEC GMX20P4、検出効率 20%) 及びデータ収集用エレクトロニクスモジュールを購入した。これにより、現在、ミュオン原子 X 線の測定システムは 3 セットの検出器で構成されることとなった。一方、既存の実験設備を用いて理研 RAL ミュオン施設の第 4 実験ポートで実験が進められた。固体重水素薄膜に注入されたわずか数 ppm の安定同位体サマリウム ^{148}Sm と ^{152}Sm の実験において、ミュオン移行反応で生成したミュオンサマリウム原子の $2p \rightarrow 1s$ 遷移 X 線 (約 4.5MeV) が観測されると共に、球形核 ^{148}Sm と変形核 ^{152}Sm 間の同位体シフトも観測された (図 2)。このような非常に低濃度の注入量で、つまり高効率で同位体シフトの観測に成功したことは、本手法による不安定核の研究に向けて非常に有望な結果となった。また、既設の高性能表面電離型イオン源に関しては、イオンビームの安定性を改善するために、PLC を使った新しい制御システムを構築した。京都大学原子炉実験所において、最初のテストが開始される予定である。

昨年、理研 RAL ミュオン施設に設置されていた既存の実験装置が日本へ返送された。この実験装置はこの研究プロジェクトを続

けるために、新しい J-PARC ミュオン施設 (MUSE) で組み立てる計画である。MUSE では、ミュオンの強度がより高いため、より良い精度の結果も期待される。また、新たなゲルマニウム半導体検出器及びデータ収集用エレクトロニクスモジュールの3セットは J-PARC/MUSE でのミュオン原子 X 線実験において使われ始めている。

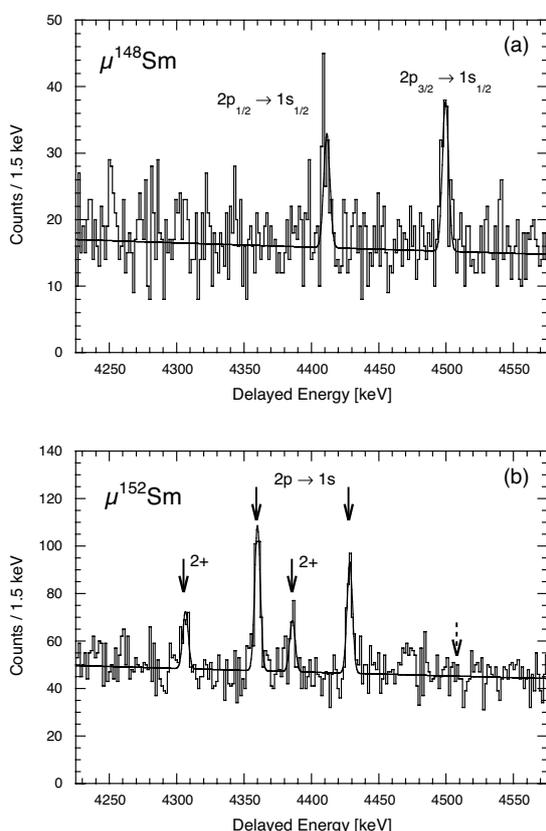


図 2: Delayed spectrum of the $2p \rightarrow 1s$ muonic transitions in Samarium measured with 1-mm-thick pure D_2 and about 1 ppm of (a) ^{148}Sm and (b) ^{152}Sm ions implanted non-uniformly. The arrows show the most intense lines. The transitions where the ^{152}Sm nucleus was excited to the 2^+ level as the muon reached the $1s$ state are shown.

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 7 件)

- ① P. Strasser, A. Taniguchi, S. Ohya, H. Mochizuki, T. Matsuzaki, K. Ishida, Y. Matsuda, M. Iwasaki, and K. Nagamine, “Muon transfer studies in solid D_2 with implanted alkali and alkaline-earth ions”, RIKEN Accelerator Progress Report 41 (2008) pp. 199.
- ② P. Strasser, A. Taniguchi, T. Matsuzaki, K. Ishida, Y. Matsuda, S. Ohya, M. Iwasaki and K. Nagamine: “Muon Spectroscopy with Trace Alkaline-Earth and Rare-Earth Isotopes

Implanted in Solid D_2 ”, Hyperfine Interactions 193 (2009) 121-127.

- ③ P. Strasser, Y. Miyake, N. Kawamura, S. Makimura and K. Nishiyama: “Alignment and Shields in the M2 Primary Proton Beamline at J-PARC”, Nuclear Instruments, Methods in Physics Research A 600 (2009) 154-456.
- ④ P. Strasser, A. Taniguchi, S. Ohya, T. Matsuzaki, K. Ishida, Y. Matsuda, M. Iwasaki, and K. Nagamine, “Muon transfer studies in solid D_2 with implanted alkali and alkaline-earth ions”, RIKEN Accelerator Progress Report 42 (2009) pp. 259.
- ⑤ P. Strasser, A. Taniguchi, S. Ohya, T. Matsuzaki, K. Ishida, Y. Matsuda, M. Iwasaki, and K. Nagamine, “Muon Transfer Studies in Solid D_2 with Implanted Rare-Earth Ions”, RIKEN Accelerator Progress Report 43 (2010) pp. 263.
- ⑥ P. Strasser, K. Shimomura, A. Koda, N. Kawamura, H. Fujimori, S. Makimura, Y. Kobayashi, K. Nakahara, M. Kato, S. Takeshita, M. Hiraishi, M. Miyazaki, W. Higemoto, T. U. Ito, K. Ninomiya, K. Ishida, M. K. Kubo, R. Kadono, K. Nishiyama and Y. Miyake, “J-PARC decay muon channel construction status”, Journal of Physics: Conference Series 225 (2010) 012050[1-8].
- ⑦ 幸田 章宏、ストラッサー パトリック、「J-PARC/MLF ミュオン実験の検出器」、放射線 Vol. 36, No.3 (2010) 151-157.

[学会発表] (計 7 件)

- ① P. Strasser: “Muon Spectroscopy with Trace Alkaline-Earth and Rare-Earth Isotopes Implanted in Solid D_2 ”, 「EXA 2008」国際会議、2008 年 9 月 15 日～18 日、ウィーン(オーストリア)。
- ② 谷口 秋洋、「RIKEN-RAL におけるミュオン原子生成実験の状況」、第 5 回「停止・低速不安定核ビームを用いた核分光研究」研究会、2008 年 12 月 24 日～25 日、大阪大学核物理研究センター、大阪。
- ③ P. Strasser: “J-PARC Decay Muon Channel Construction Status”, 日本物理学会第 6 4 回年次大会、2009 年 3 月 27 日～30 日、立教学院池袋キャンパス、東京。
- ④ P. Strasser: “J-PARC Decay Muon Channel Construction Status”, 「ASR2009」国際シンポジウム、2009 年 11 月 10 日～12 日、東海。
- ⑤ P. Strasser: “Muonic Radioactive Atoms”, 「3N2MP at ESS」国際ワークショップ、2009 年 12 月 2 日～4 日、ルント (スウェーデン)。
- ⑥ P. Strasser: “Muonic Radioactive Atoms”, RCNP 研究会「ミュオン科学と加速器研

- 究」、2010年2月23日～24日、大阪。
- ⑦ P. Strasser: “Present Status of the Decay Muon Channel (D-Line) at J-PARC”、第2回MLFシンポジウム、2011年1月17日～18日、高エネルギー加速器研究機構 [小林ホール]、つくば。

6. 研究組織

(1) 研究代表者

Patrick Strasser (STRASSER, Patrick)

大学共同利用機関法人高エネルギー加速器研究機構・物質構造科学研究所・研究機関講師

研究者番号：20342834

(2) 研究分担者

(3) 連携研究者

谷口 秋洋 (TANIGUCHI, Akihiro)

京都大学・原子炉実験所・准教授

研究者番号：10273533