

科学研究費助成事業 研究成果報告書

令和 4 年 6 月 16 日現在

機関番号：13201

研究種目：基盤研究(B) (一般)

研究期間：2018～2021

課題番号：18H01747

研究課題名(和文) ミュオンスピンを利用した水素原子挙動と水素脆性抑制因子の非破壊評価法の開発

研究課題名(英文) Development of a non-destructive method to study hydrogen behavior and hydrogen embrittlement resistance using muon spin relaxation spectroscopy

研究代表者

西村 克彦(Nishimura, Katsuhiko)

富山大学・学術研究部都市デザイン学系・教授

研究者番号：70218189

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 13,200,000円

研究成果の概要(和文)：正ミュオンは、アルミニウム中で電氣的に水素イオンと同じ様に振る舞うので、水素が捕獲される格子位置の近くに捕獲され、磁気相互作用を通じて、ミュオンの周りの水素の個数と距離の情報を提供する。よって、ミュオンスピン緩和法が水素動力学を研究する最適な研究手段と思われる。本研究の目的は、水素濃度が異なる高純度アルミニウム及びアルミニウム合金でミュオンスピン緩和実験を行い、ミュオン捕獲率の変化から、格子間の水素原子濃度評価法を確立する。また、スピン緩和率の変化は水素原子の数と距離に依存するので、水素原子の格子位置を明らかにする。アルミニウム合金で水素拡散を抑制する元素を探索する。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究では、アルミ合金に水素注入するイオンプラント装置を作製し、更に異なる3つの手法で水素注入を行い、それらの装置の性能評価を行った。水素注入したAl, Al-Cu, Al-Mg合金でゼロ磁場ミュオンスピン緩和実験を行い、ミュオンスピンと水素原子の磁氣的相互作用に起因する緩和率の上昇を始めて観測した。また、Al-Mg-Si合金ではCu添加によってミュオン捕獲率が増加する現象を発見した。この研究成果は、アルミ合金中の水素拡散を抑制する手段を示唆している。これらは新規な研究成果であり、水素社会の安心・安全を確立する上で重要であり、産業界に大きなインパクトをもたらすと考える。

研究成果の概要(英文)：Since positive muons behave electrically like hydrogen ions in aluminum, they are trapped near the lattice positions where hydrogen is trapped, and thus provide information on the number and distance of hydrogen around the muon through magnetic interactions. The muon spin relaxation method, therefore, appears to be the best means of studying hydrogen kinetics in aluminum and aluminum alloys. The purpose of this study is to carry out muon spin relaxation experiments on pure aluminum and aluminum alloys with different hydrogen concentrations and establish a method for evaluating the concentration of hydrogen atoms in the interstitial lattice based on changes in the muon trapping rate. The lattice positions of hydrogen atoms will also be clarified via the change in spin relaxation rate which depends on the number and distance of hydrogen atoms around muons. We will search for elements that suppress hydrogen diffusion in aluminum alloys to prevent hydrogen embrittlement.

研究分野：材料物性工学

 キーワード：アルミニウム合金 水素脆性 ミュオンスピン緩和法 原子空孔 ナノクラスタ 組織観察 イオンガ
ン 第一原理計算

科研費による研究は、研究者の自覚と責任において実施するものです。そのため、研究の実施や研究成果の公表等については、国の要請等に基づくものではなく、その研究成果に関する見解や責任は、研究者個人に帰属します。

1. 研究開始当初の背景

金属材料の水素脆性は広く知られたことだが、金属中水素原子の直接観察の困難さにより、水素原子の拡散や捕獲に関する実験的データは限定されている。多くのアルミ合金の水素脆性研究は、材料中のボイドやポアに集積した水素ガスと機械的特性に集中してきた[1]。6000系アルミ合金の疲労試験と水素脆性の研究は、6061合金の優れた耐水素脆性と純粋なAl-Mg-Si合金の耐水素脆性の低下を示している[2]。添加元素が水素原子の拡散を抑制し、水素脆化を抑制していると考えられる。その結果を、電子顕微鏡観察から結晶粒の微細化と粒界破壊の抑制により説明している。これらの研究は、ボイドやポアに集積した水素ガスとマイクロサイズの結晶粒を対象としている。一方、アルミニウム及びアルミ合金中の水素脱離挙動を昇温脱離法(TDS)で調べると、水素脱離ピークは2つ以上存在する。例えば純粋なアルミニウムのTDS測定結果では、低温100°C付近に水素脱離ピークがあり、格子間に捕獲されていた水素原子が拡散し脱離したものと解釈されている[3]。このように、アルミニウムおよびアルミ合金中では、多くの水素は格子間に捕獲されており、それが加熱や変形により粒界やボイドに集積し、水素脆性をもたらすと考えられる。“アルミ合金中で水素原子はどのような位置に捕獲されて、どのような経路で拡散するか?”。“アルミ合金中で水素原子の拡散を抑制する元素はなにか?”この問いに対する解答は、水素脆性過程を解明し、対策を設計する上で重要である。

本研究では、近年実験精度が飛躍的に向上したミュオンスピン緩和法を応用し、アルミ合金中の水素原子の捕獲位置と拡散挙動を解明し、水素脆性を抑制する工業的手法を探索する。よって、基盤材料となるアルミ合金の選択枝を広げ、水素エネルギー社会の安全性を高める。

2. 研究の目的

アルミ合金中の水素原子の捕獲格子間位置と拡散挙動を実験的に研究した例は希である。ミュオンスピン緩和法が最適な研究手段と思われる。正ミュオンは、アルミニウム中で電気的に水素イオンと同じ様に振る舞うので、水素が捕獲される格子位置の近くに捕獲され、磁気相互作用を通じて、ミュオンの周りの水素の個数と距離の情報を提供する。

本研究の目的は、水素濃度が異なる高純度アルミニウム及びアルミニウム合金でミュオンスピン緩和実験を行い、ミュオン捕獲率の変化から、格子間の水素原子濃度評価法を確立する。また、スピン緩和率の変化は水素原子の数と距離に依存するので、水素原子の格子位置を明らかにする。アルミニウム合金で水素拡散を抑制する元素を探索する。

3. 研究の方法

まず水素原子を実験試料に注入するために、イオンガンを利用した水素インプラント装置を設計・整備した。図1は装置の概略図である。最適なインプラント条件、試料温度、電圧、電流等を探索した。Tiシートを利用した性能試験では、注入した水素量と注入時間の線形相関を確認し、水素を注入できることを確認した。図2は、昇温水素脱離法(TDS)により注入した水素量を測定した結果である[4]。

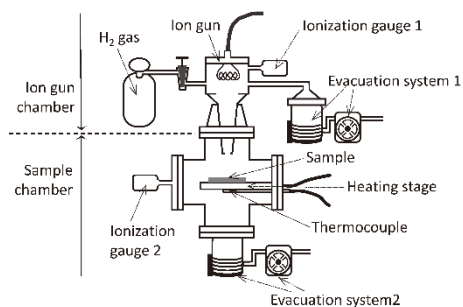


Fig. 1 Schematic of ion implantation apparatus.

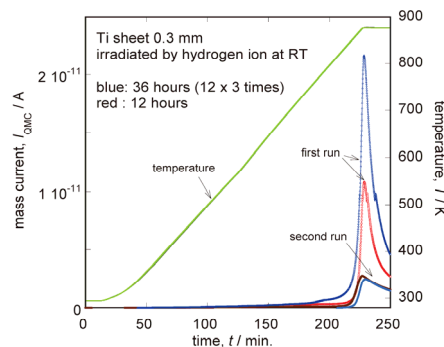


Fig. 5 Thermal desorption spectrum of Ti sheet after hydrogen ion irradiation.

図1 (左) 作製した水素インプラント装置の概略図

図2 (右) Tiシートを利用した水素注入試験の水素脱離試験結果

また、放電加工法およびプラズマ放電法による水素注入も試みた。試験するアルミニウム合金は、解析を簡潔にするためAl-Mg、Al-Cuなど二元合金を利用した。試料サイズは、25x25x1mm³程

度である。すべての試料は、まず 773K で 1 時間溶体化処理後に炉令された。TDS による分析結果から、原子空孔に捕獲されている水素濃度はおおよそ 40ppm 程度と判断した。

ミュオンスピン緩和測定は、大強度陽子加速器施設 (J-PARC) の物質・生命科学実験施設 (MLF) のミュオン施設で行った。シンクロトロンで陽子を加速し炭素の核反応で生成される π^+ 中間子が崩壊して、正ミュオンが生成される。その正ミュオンのスピンは、進行方向とは逆向きに 100% 偏極している。正ミュオンは、半減期 2.2 マイクロ秒で陽電子と 2 つのニュートリノに崩壊するが、放出される陽電子はミュオンスピン方向に対して異方的である。よって、陽電子の計数率をミュオンビーム前方と後方の検出器で観測して、ミュオンスピンの偏極度 $G(t)$ (asymmetry) を測定する。ゼロ磁場ミュオンスピン緩和率の温度変化 (温度範囲 20K~300K) を測定した。

4. 研究成果

(1) 初めに純度 99.99%Al にプラズマ放電で水素をチャージした試料でゼロ磁場ミュオンスピン緩和実験 (μ SR) を行った。図 3 に、ゼロ磁場ミュオンスピン緩和スペクトル (測定温度 200K、280K) を例示した。縦軸が、スピン偏極度を表し、横軸はミュオンパルスが入射してからの時間である。水素チャージアルミ試料のデータを青印、純アルミ試料のデータを黒印で表した。スピン緩和スペクトルから分かることは、200K の 2 種類試料のスペクトルは、ほとんど重なっており、水素チャージによる差異がない。280K のスペクトルでは、水素チャージ試料でのスピン緩和率が純アルミ試料の緩和率より大きいことがわかり、水素チャージによる効果がみられる。図 4 はミュオンスピン緩和幅 Δ の温度変化を表している。緩和幅は、ミュオンスピンが感じる双極子磁場の大きさを反映している。よって、緩和幅が大きいことは、ミュオンの近くに核磁気を持っている原子が多くいることを示す。室温付近で観測されている緩和幅の値の差異を考慮すると、水素チャージ試料で、四面体格子位置に捕獲されているミュオンと第 2 最近接四面体格子位置に捕獲されている水素が、磁氣的に相互作用しているように考えることができる。

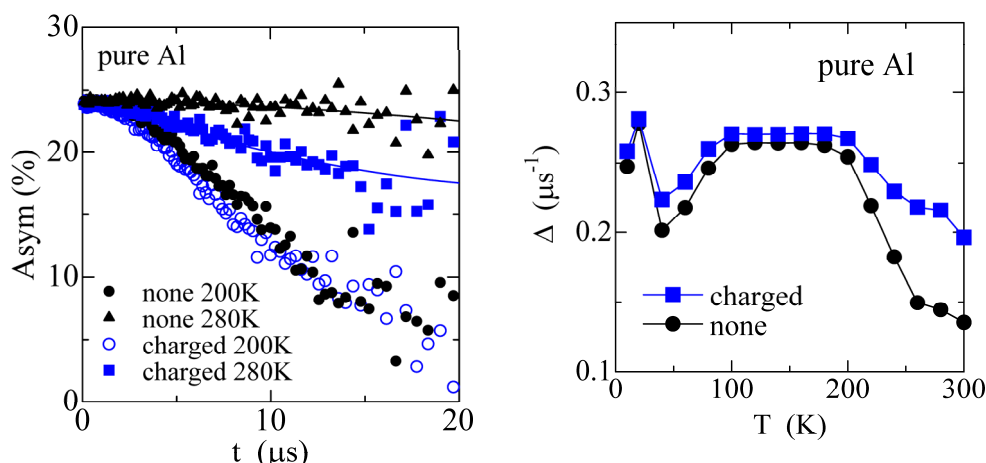


図 3 (左) アルミニウムの μ SR スペクトル。水素チャージした試料のデータを青印、チャージなし試料のデータを黒印で記す。

図 4 (右) ミュオンスピン緩和幅の温度変化。

(2) 最近の電子密度計算結果は、1 個の原子空孔がその周りの 8 個の四面体位置に水素原子を捕獲することを示唆しているが[5]、実験データの裏付けがない。これまでの研究から、Al-0.2at.%Cu 合金中で正ミュオンは、温度 40K 以下で固溶した Cu に捕獲され、80K 付近で Cu-原子空孔クラスターに捕獲され、200K 以上で原子空孔に捕獲されることがわかっている[6]。今回は、原子空孔との結合エネルギーが比較的高いといわれている Cu を添加した Al-0.2at.%Cu 合金を使って、ミュオンスピン緩和率の温度変化を調査した。水素チャージは放電加工機により行った。

図 5 にミュオン捕獲率の温度変化を示す。捕獲率には水素チャージによる顕著な効果は見られない。50K 以下で捕獲率が大きいのは、ミュオンが固溶している Cu が作る高密度の浅いポテンシャルに捕獲されるためである。100K 付近のピークは、ミュオンが Cu-原子空孔の対に捕獲されることが原因と考えられている[7]。原子空孔が作る深いポテンシャルに捕獲される 200K 以上でも、顕著な差異はない。この結果は、2 つの試料の原子空孔密度がほぼ同じことを示唆している。一方、図 6 に示すスピン緩和幅の温度変化には、200K 以上で水素チャージ効果が見られる。水素チャージした Al-0.2%Cu で、室温付近の緩和幅が大きいのは、原子空孔に捕獲されたミュオンの近くに水素原子がいることが原因と考えられる。ミュオンがアルミニウム格子の四面体

位置に捕獲され、近接位置の水素原子核磁気モーメントが作る核磁場と相互作用する場合、緩和幅は増加する。最近接四面体位置に水素原子が1個あると緩和幅は、 $0.2\mu\text{s}^{-1}$ だけ増加する。第二最近接四面体位置に水素原子がある場合は、 $0.07\mu\text{s}^{-1}$ だけ増加する。図6の300K付近の値は、平均すると捕獲されたミュオンの第二最近接距離に水素原子が1個存在することを示唆している。熱平衡状態のAl-0.2%Cu合金の原子空孔濃度が20~30ppmと仮定する[8]。図7のTDSの結果は、550K付近に水素脱離ピークを示し、四面体位置にいる水素原子の脱離に起因すると考える。その濃度から、40ppm程度の水素原子が格子間位置に捕獲されていると考え、ほとんどの原子空孔周りに水素原子が存在することになる。この結果は、今回のミュオンスピン緩和実験結果と矛盾しない。800K以上のピークは空洞に捕獲された水素ガスに起因する。

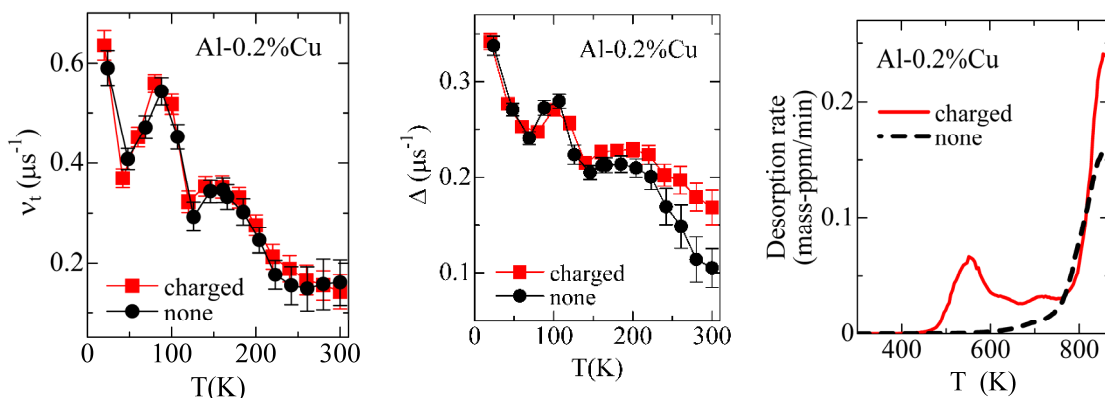


図5 (左) Al-0.2%Cu合金のミュオン捕獲率の温度変化。水素チャージした試料のデータを赤印、チャージなし試料のデータを黒印で記す。

図6 (中) Al-0.2%Cu合金のミュオンスピン緩和幅の温度変化。

図7 (右) Al-0.2%Cu合金の水素脱離スペクトル。

(3)水素原子をインプラントするために作製したイオンガン装置とプラズマ放電装置の性能評価を行った。注入量を定量的に評価するため、重水素を利用した。図8はイオンガン装置でAl-0.2%Cu合金に36時間チャージした試料のTDSスペクトルである。200°C付近にD2(重水素分子)(青線)およびHD(赤線)のピークがある。これは、格子間位置に捕獲された重水素が脱離したものと考えている。全体的に重水素よりもH2のピークが大きい。これは、試料を作製する際に吸蔵された水素が原因と考えている。図9はプラズマ放電装置で8時間チャージした試料のTDSスペクトルである。チャージ時間を考慮すると、時間当たりのチャージ能力は、おおよそイオンガン:プラズマ=1:10である。TDS分析の結果を考慮するとアルミ合金には作製時に多くの水素が急増される場合があることがわかる。

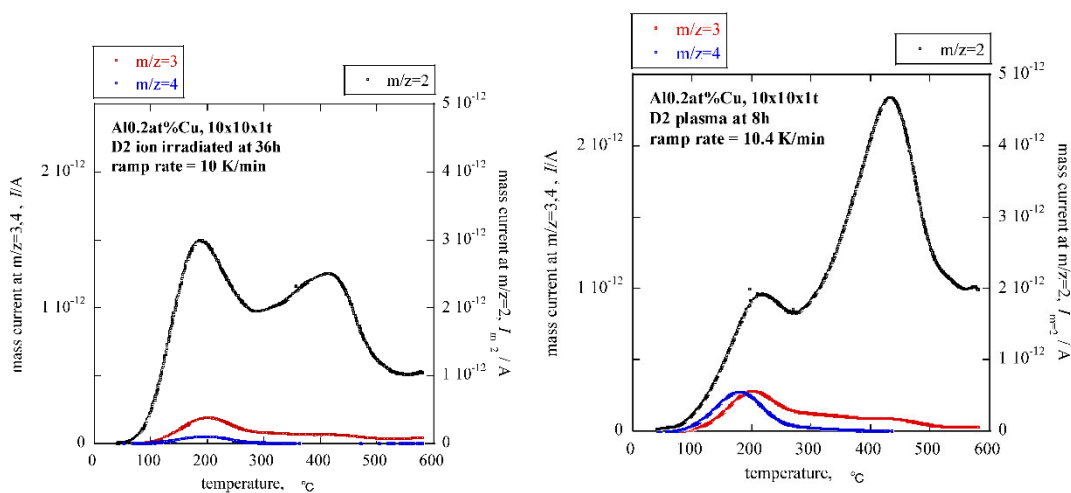


図8 (左) イオンガン装置でAl-0.2%Cu合金に重水素を36時間チャージした試料のTDSスペクトル。

図9 (右) プラズマ装置でAl-0.2%Cu合金に重水素を8時間チャージした試料のTDSスペクトル

ル。

(4) ミュオンスピン緩和率の時間変化を調査した実験により、Al-Mg-Si-Cu 合金で水素脆性が抑制される機構解明のヒントとなる現象を発見した。図 10 は、Al-1.6%Mg₂Si 合金および Al-0.2% Cu を溶体化処理 (843K で 1 時間熱処理、氷水に焼き入れ) 後、自然時効中のミュオン捕獲率の時間変化を示している。過剰原子空孔の消滅と溶質原子クラスタ形成で、捕獲率は減少している。ところが、同じ条件で Al-1.0%Mg₂Si-0.2%Cu 合金の捕獲率の時間変化を観測すると、自然時効につれ捕獲率は増加した。つまり、Al-Mg-Si に Cu を添加するとミュオン (水素) を捕獲するサイト数密度が時効によって増加することを示唆している。Cu 添加によりこの現象を発現する機構が水素拡散を抑制すると考えている[6]。

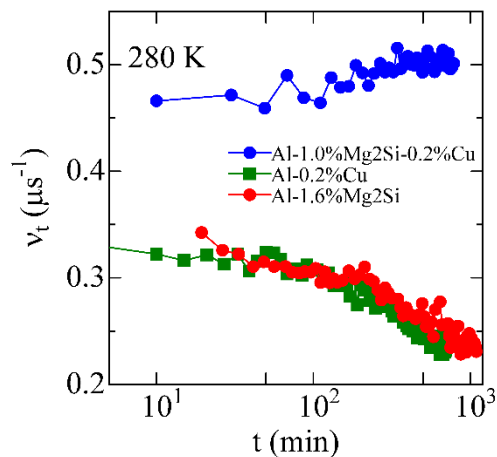


図 10 Al-1.6%Mg₂Si (赤印)、Al-0.2%Cu (緑印)、Al-1.0%Mg₂Si-0.2%Cu (青印) のミュオン捕獲率の等温 (280K) における時間変化。

引用文献

- [1] Toda et al., Metall. Mater. Trans. 45A (2014) 765.
- [2] 一谷、小山、軽金属, 62 (2012) 212.
- [3] Suzuki et al., Mater. Trans., 52 (2011) 1741.
- [4] 赤丸、西村、水素同位体科学研究センター研究報告, Vol.39 (2019) 37-45.
- [5] R. Nazarov et al., Phys. Rev. B 89 (2014) 144108.
- [6] S. Wenner et al., Metall. Mater. Trans. A 50 (2019) 3446-3451.
- [7] W.J. Kossler et al., Phys. Rev. Lett. 41 (1978) 1558-1561.
- [8] P. Lang et al., Mater. Sci. Forum 794-796 (2014) 963-970.

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計6件（うち査読付論文 6件/うち国際共著 4件/うちオープンアクセス 1件）

| | |
|---|-------------------------|
| 1. 著者名 Nishimura Katsuhiko, Matsuda Kenji, Lee Seungwon, Nunomura Norio, Shimano Tomoki, Bendo Artenis, Watanabe Katsumi, Tsuchiya Taiki, Namiki Takahiro, Toda Hiroyuki, Yamaguchi Masatake | 4. 巻 774 |
| 2. 論文標題 Abnormally enhanced diamagnetism in Al-Zn-Mg alloys | 5. 発行年 2019年 |
| 3. 雑誌名 Journal of Alloys and Compounds | 6. 最初と最後の頁 405 ~ 409 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.jallcom.2018.10.037 | 査読の有無 有 |
| オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難 | 国際共著 - |

| | |
|---|-------------------------------|
| 1. 著者名 Nishimura Katsuhiko, Matsuda Kenji, Tsuchiya Taiki, Nunomura Norio, Bendo Artenis, Isikawa Yosikazu, Imai Kosuke, Adachi Hiroki, Hutchison Wayne D. | 4. 巻 9 |
| 2. 論文標題 Critical concentrations of Zn and Mg for enhanced diamagnetism in Al-Zn-Mg alloys | 5. 発行年 2019年 |
| 3. 雑誌名 AIP Advances | 6. 最初と最後の頁 125111 ~ 125111 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1063/1.5126972 | 査読の有無 有 |
| オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である） | 国際共著 該当する |

| | |
|--|-----------------------|
| 1. 著者名 Nishimura Katsuhiko, Matsuda Kenji, Lee Seung Won, Watanabe Isao, Jawad Majed Abdel, Matsuzaki Teiichiro | 4. 巻 985 |
| 2. 論文標題 Time Dependence of Muon Spin Relaxation Rate in Aluminum and Al-1.6%Mg2Si Alloy | 5. 発行年 2020年 |
| 3. 雑誌名 Materials Science Forum | 6. 最初と最後の頁 10 ~ 15 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.4028/www.scientific.net/MSF.985.10 | 査読の有無 有 |
| オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難 | 国際共著 該当する |

| | |
|--|---------------------------|
| 1. 著者名 Wenner Sigurd, Marioara Calin D., Nishimura Katsuhiko, Matsuda Kenji, Lee Seungwon, Namiki Takahiro, Watanabe Isao, Matsuzaki Teiichiro, Holmestad Randi | 4. 巻 50 |
| 2. 論文標題 Muon Spin Relaxation Study of Solute?Vacancy Interactions During Natural Aging of Al-Mg-Si-Cu Alloys | 5. 発行年 2019年 |
| 3. 雑誌名 Metallurgical and Materials Transactions A | 6. 最初と最後の頁 3446 ~ 3451 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/s11661-019-05285-y | 査読の有無 有 |
| オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難 | 国際共著 該当する |

| | |
|--|-------------------------------|
| 1. 著者名 Nishimura Katsuhiko, Imai Kosuke, Matsuda Kenji, Nunomura Norio, Tsuchiya Taiki, Isikawa Yosikazu, Adachi Hiroki, Hutchison Wayne D. | 4. 巻 877 |
| 2. 論文標題 Magnetic property of Al-Mg alloys and intermetallic compounds | 5. 発行年 2021年 |
| 3. 雑誌名 Journal of Alloys and Compounds | 6. 最初と最後の頁 160226 ~ 160226 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.jallcom.2021.160226 | 査読の有無 有 |
| オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難 | 国際共著 該当する |

| | |
|--|--------------------------|
| 1. 著者名 Namiki Takahiro, Matsumoto Yuki, Isikawa Yosikazu, Nishimura Katsuhiko | 4. 巻 90 |
| 2. 論文標題 Anisotropy of Magnetization and Specific Heat of TmTi2Al20 Single Crystal | 5. 発行年 2021年 |
| 3. 雑誌名 Journal of the Physical Society of Japan | 6. 最初と最後の頁 114602-1-5 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.7566/JPSJ.90.114602 | 査読の有無 有 |
| オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難 | 国際共著 - |

〔学会発表〕 計15件 (うち招待講演 2件 / うち国際学会 6件)

| |
|--|
| 1. 発表者名 Katsuhiko Nishimura |
| 2. 発表標題 Muon Spin Relaxation of a Hydrogen Charged Aluminum (Plenary Lecture) |
| 3. 学会等名 International Conference on the Physical Properties and Application of Advanced Materials (Daegu, Republic of Korea, Sept. 1-4, 2109) (招待講演) (国際学会) |
| 4. 発表年 2019年 |

| |
|---|
| 1. 発表者名 Katsuhiko Nishimura |
| 2. 発表標題 Hydrogen Trapped Sites in Aluminum Alloys Studied by Zero-Field Muon Spin Relaxation Method (Oral) |
| 3. 学会等名 Materials Research Meeting 2019 (Yokohama, Dec. 10-14) (国際学会) |
| 4. 発表年 2019年 |

| |
|---|
| 1. 発表者名 西村克彦, 松田健二, 並木孝洋, 李昇原, 赤丸悟士, 髭本亘, 三宅康博, 戸田裕之, 清水一行 |
| 2. 発表標題 水素チャージしたAl-0.2%Cu合金のミュオンスピン緩和測定 |
| 3. 学会等名 軽金属学会第137回秋季大会(東京工業大学, 2019) |
| 4. 発表年 2019年 |

| |
|---|
| 1. 発表者名 今井康祐, 西村克彦, 松田健二, 布村紀男, 足立大樹 |
| 2. 発表標題 Al-Zn-Mg合金の自然時効における巨大反磁性 |
| 3. 学会等名 軽金属学会第137回秋季大会(東京工業大学, 2019) |
| 4. 発表年 2019年 |

| |
|---|
| 1. 発表者名 西村克彦, 松田健二, 布村紀男, 三宅康博, 髭本亘 |
| 2. 発表標題 水素チャージしたアルミ合金のミュオンスピン緩和測定 |
| 3. 学会等名 J-PARC MLF産業利用報告会(秋葉原コンベンションホール7月) |
| 4. 発表年 2019年 |

| |
|---|
| 1. 発表者名 西村克彦, 松田健二, 布村紀男, 石川義和, 並木孝洋, 足立大樹 |
| 2. 発表標題 Al-Zn-Mg合金に発現する巨大反磁性 |
| 3. 学会等名 日本物理学会2019秋季大会(岐阜大学、9月) |
| 4. 発表年 2019年 |

| |
|---|
| 1. 発表者名 西村克彦 |
| 2. 発表標題 水素チャージしたアルミ合金のミュオンスピン緩和測定 |
| 3. 学会等名 京大複合研専門研究会「短寿命RIを用いた核分光と核物性研究」 |
| 4. 発表年 2020年 |

| |
|--|
| 1. 発表者名 Katsuhiko Nishimura |
| 2. 発表標題 Time Dependence of Muon Spin Relaxation Rate in Aluminum and Al-1.6%Mg2Si Alloy |
| 3. 学会等名 International Conference on the Physical Properties and Application of Advanced Materials (Hanoi) (招待講演) (国際学会) |
| 4. 発表年 2018年 |

| |
|---|
| 1. 発表者名 西村克彦, 松田健二, 布村紀男, 李昇原, 並木孝洋, 渡邊功雄, 松崎禎市郎 |
| 2. 発表標題 ミュオンスピン緩和法によるAl-Mg-Si の自然時効におけるCu 添加効果 |
| 3. 学会等名 軽金属学会第135回秋期大会 (2018) |
| 4. 発表年 2018年 |

| |
|--|
| 1. 発表者名 西村克彦, 松田健二, 布村紀男, 渡邊功雄, 髭本亘, 三宅康博 |
| 2. 発表標題 ミュオンスピン緩和法によるアルミ合金中の水素原子拳動 |
| 3. 学会等名 短寿命RIを用いた核分光と核物性研究 (京大原子炉) |
| 4. 発表年 2018年 |

| |
|--|
| 1. 発表者名 西村克彦, 松田健二, 布村紀男, 李昇原, 並木孝洋, 渡邊功雄, 松崎禎市郎 |
| 2. 発表標題 Al-1.6%Mg ₂ Siの自然時効におけるミュオンスピン緩和率の時間変化 |
| 3. 学会等名 軽金属学会第165回春期大会 (2019) |
| 4. 発表年 2019年 |

| |
|---|
| 1. 発表者名 Katsuhiko Nishimura, Kenji Matsuda, Takahiro Namiki, Seungwon Lee, Wataru Higemoto, Yasuhiro Miyake, Goroh Itoh, Hiroyuki Toda |
| 2. 発表標題 Muon Spin Relaxation of a Hydrogen Charged Aluminum |
| 3. 学会等名 The 17th International Conference on Aluminum Alloys ICAA17(Grenoble) (国際学会) |
| 4. 発表年 2020年 |

| |
|--|
| 1. 発表者名 Katsuhiko Nishimura, Kenji Matsuda, Norio Nunomura, Takahiro Namiki, Seungwon Lee, Satoshi Akamaru, Wataru Higemoto, Teiichiro Matsuzaki, Isao Watanabe |
| 2. 発表標題 Muon spin relaxation experiments for Al-Mg and Al-Cu alloys |
| 3. 学会等名 International Conference on the Physical Properties and Application of Advanced Materials (Czech) (国際学会) |
| 4. 発表年 2021年 |

| |
|--|
| 1. 発表者名 K. Nishimura, K. Matsuda, N. Nunomura, T. Namiki, S. Lee, W. Higemoto, T. Tsuru, T. Matsuzaki, I. Watanabe, K. Shimizu, H. Toda |
| 2. 発表標題 Hydrogen Trapped Sites in Al-Mg and Al-Cu alloys studied by Muon Spin Relaxation Method |
| 3. 学会等名 MRM2021, Dec 13-17, Yokohama (国際学会) |
| 4. 発表年 2021年 |

| |
|--|
| 1. 発表者名 西村克彦、松田健二、並木孝洋、李 昇原、土屋大樹、髭本 亘、三宅康博、戸田裕之、平山恭介、清水一行 |
| 2. 発表標題 水素チャージしたAl-Cu, Al-Mg合金のミュオンスピン緩和測定 |
| 3. 学会等名 軽金属学会第139回 |
| 4. 発表年 2020年 |

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

| | 氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号) | 所属研究機関・部局・職 (機関番号) | 備考 |
|-------|--|--|----|
| 研究分担者 | 松田 健二 (Matsuda Kenji) (00209553) | 富山大学・学術研究部都市デザイン学系・教授 (13201) | |
| 研究分担者 | 赤丸 悟士 (Akamaru Satoshi) (10420324) | 富山大学・学術研究部理学系・助教 (13201) | |

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

| | |
|---------|---------|
| 共同研究相手国 | 相手方研究機関 |
|---------|---------|